¿QUÉ SABEMOS DE?

El Antropoceno

Valentí Rull

CSIC

CATARATA

¿QUÉ SABEMOS DE?

El Antropoceno

Valentí Rull

CSIC

CATARATA

El Antropoceno

Valentí Rull

Colección ¿Qué sabemos de?

COMITÉ EDITORIAL

Pilar Tigeras Sánchez, Directora
Carmen Guerrero Martínez, Secretaria
Ramón Rodríguez Martínez
Jose Manuel Prieto Bernabé
Arantza Chivite Vázquez
Javier Senén García
Carmen Viamonte Tortajada
Manuel de León Rodríguez
Isabel Varela Nieto
Alberto Casas González

CONSEJO ASESOR

José Ramón Urquijo Goitia
Avelino Corma Canós
Ginés Morata Pérez
Luis Calvo Calvo
Miguel Ferrer Baena
Eduardo Pardo de Guevara y Valdés
Víctor Manuel Orera Clemente
Pilar López Sancho
Pilar Goya Laza
Elena Castro Martínez
Rosina López-Alonso Fandiño
María Victoria Moreno Arribas
David Martín de Diego
Susana Marcos Celestino
Carlos Pedrós Alió
Matilde Barón Ayala
Pilar Herrero Fernández
Miguel Ángel Puig-Samper Mulero
Jaime Pérez del Val

Catálogo general de publicaciones oficiales

http://publicacionesoficiales.boe.es

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA, INDUSTRIA Y COMPETITIVIDAD
CSIC
CATARATA

Diseño gráfico de cubierta: Carlos Del Giudice

© Valentí Rull, 2018

© CSIC, 2018

© Los Libros de la Catarata, 2018

Fuencarral, 70

28004 Madrid

Tel. 91 532 20 77

Fax. 91 532 43 34

www.catarata.org

isbn (csic): 978-84-00-10314-9

isbn electrónico (csic): 978-84-00-10315-6

isbn (catarata): 978-84-9097-422-3

isbn electrónico (catarata): 978-84-9097-423-0

nipo: 059-18-009-0

nipo electrónico: 059-18-010-3

depósito legal: M-4.543-2018

ibic: PDZ/RBG/RNA

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse en manera alguna por medio ya sea electrónico, químico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Los Libros de la Catarata. Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Los Libros de la Catarata, por su parte, solo se hacen responsables del interés científico de sus publicaciones.

Introducción

El 9 de septiembre de 2016, el periódico El País titulaba: "Bienvenidos al Antropoceno: 'Ya hemos cambiado el ciclo natural de la Tierra'", y seguía: "Un grupo científico acaba de confirmar que estamos en una nueva era geológica". La noticia empezaba así: "Si usted nació antes de 1950, puede que ahora se vaya a sentir algo más mayor: ha vivido en dos épocas geológicas distintas. La Tierra ha entrado en una nueva página del calendario geológico, el Antropoceno". Unos días antes, los titulares de la BBC preguntaban: "¿Qué es el Antropoceno, la 'Edad de los Humanos' que expertos aseguran hemos entrado?", y respondían: "La mayoría de los científicos más avanzados piensan que es real, que está claro. Algo está sucediendo. Estamos hablando del Antropoceno, la 'Edad de los Humanos', que da por terminada la que conocíamos hasta ahora como el Holoceno". Aunque con distintas variaciones fruto de la inventiva, la contundencia y la impaciencia periodística, una gran cantidad de medios de comunicación se referían al mismo tema en fechas similares. ¿Qué había pasado? El término 'Antropoceno' no era nada nuevo, había sido acuñado por lo menos 16 años atrás y ya era utilizado tanto en el ámbito científico como en el popular con bastante soltura y, a menudo, con cierta (o mucha) ligereza. No se trataba de un nuevo vocablo ni de un nuevo concepto, ni siquiera de una nueva idea acabada de emerger, como para desatar ese súbito alud de titulares de prensa. Para entender esto, debemos tener en cuenta que el 'Antropoceno', a pesar de lo habitual y extendido de su uso, es un término todavía informal, es decir, pendiente de homologación científica.

Cada ciencia tiene su propio sistema para designar, definir y clasificar los términos que se consideran válidos (o términos formales) en su ámbito y que permiten su crecimiento y desarrollo. La corrección de la nomenclatura científica es fundamental para su consolidación, comprensión y comunicación, tanto en el ámbito académico como en la

sociedad en general. Por ejemplo, al decir "oxígeno" nos estamos refiriendo implícitamente a un elemento químico determinado, con una composición atómica concreta, que no puede ser confundido con ningún otro elemento y que ocupa una posición determinada en la tabla periódica de los elementos. Y eso es así tanto si la palabra "oxígeno" la usa un químico como un arquitecto, un abogado, un bombero o cualquier otra persona. Dicha tabla es una de las bases fundamentales que ha permitido el desarrollo del conocimiento sobre el universo, nuestro planeta y nuestra propia vida. Para que ese conocimiento se construya de forma sólida e incuestionable debe basarse en unidades fundamentales (los elementos) cuya terminología, definición y clasificación sea clara e inequívoca.

Algo similar ocurre en biología con la taxonomía o la clasificación de los seres vivos. Por ejemplo, todos sabemos lo que es un león y que pertenece a la familia de los felinos. Nunca lo confundiríamos con una cebra, que es un équido, a pesar de que ambos coexisten en las sabanas africanas. La clasificación de los seres vivos ha sido crucial para entender el fenómeno de la vida sobre la Tierra, su origen y evolución, hasta llegar a la configuración actual de la biosfera. Y eso no habría sido así si no tuviéramos los términos y conceptos sobre las especies claros y bien definidos, si confundiéramos una ballena con un delfín o una encina con un roble. Tanto la química como la biología y, en general, todas las ciencias, deben tener, y tienen, procedimientos y organizaciones que garanticen que cada término y cada concepto sea válido, es decir, único, inequívoco, inconfundible, bien definido y bien clasificado. El descubrimiento de nuevos elementos químicos que agregar a la tabla periódica, o de nuevas especies de seres vivos, debe seguir un protocolo bien establecido y universalmente aceptado, cuyo cumplimiento está supervisado por organizaciones científicas especialmente constituidas a tal efecto. Lo mismo ocurre en el caso de que se quisiera redefinir o subdividir algún elemento básico del esquema o cambiar su clasificación; cualquier cambio está sujeto a un proceso estricto de homologación, como no puede ser de otra manera.

La necesidad de corrección y claridad de términos e ideas no es, ni mucho menos, patrimonio exclusivo de la ciencia. De hecho, es necesaria en cualquier actividad de nuestra vida que pretenda construir estructuras sólidas y permanentes, bien sea en sentido físico o figurado. Un caso muy evidente es el del lenguaje, que está regulado por el diccionario y la gramática. Las palabras de un idioma y su significado las encontramos en el diccionario. Siempre podemos saber si una palabra es un adjetivo, un pronombre, un verbo, un artículo o un adverbio, y hay reglas gramaticales precisas para construir frases con ellas. Cualquier cambio o innovación debe ser cuidadosamente analizado por la academia correspondiente, que es la encargada de autorizar las novedades, que quedan automáticamente registradas en el diccionario si se trata de una palabra, o en la gramática si es una regla. Sin estas normas, no nos entenderíamos.

En el caso del 'Antropoceno', la ciencia que tiene la palabra es la geología, concretamente la estratigrafía, que se ocupa de la descripción de todos los cuerpos de roca de la corteza terrestre y su organización en unidades bien diferenciadas en base a sus propiedades y atributos, con la finalidad de establecer su distribución en el espacio, su sucesión en el tiempo e interpretar la historia geológica. Esta ciencia ha generado un esquema básico de la historia de la Tierra, comparable a la tabla periódica de los elementos o la clasificación de los seres vivos, que se conoce como la tabla cronoestratigráfica internacional (international chronostratigraphic chart). Esta tabla nos proporciona una escala cronológica, la escala del tiempo geológico (geologic time scale), que nos permite ordenar y entender la historia del planeta y sus transformaciones a través del tiempo. Sin ella, no sabríamos, por ejemplo, que hace unos 180 millones de años (Ma), durante el Jurásico, los dinosaurios dominaban la Tierra, o que nuestra especie apareció hace unos 200.000 años, durante la época que llamamos Pleistoceno, caracterizada por la existencia de glaciaciones a nivel planetario.

En geología, los términos "periodo" o "época", que en el lenguaje cotidiano podrían utilizarse eventualmente como

sinónimos, designan intervalos de tiempo muy particulares y diferentes, tanto como mes, año o siglo, con órdenes de jerarquía similares. En el ejemplo anterior, el Jurásico es un periodo geológico de unos 55 millones de años de duración, que está subdividido en épocas, mientras que el Pleistoceno es una de las dos épocas del periodo Cuaternario, que abarca los últimos 2,58 millones de años. En este ámbito, eras, periodos, épocas o edades son subdivisiones temporales bien definidas y jerarquizadas en categorías, que no pueden confundirse entre sí. La tabla cronoestratigráfica internacional contiene las unidades sobre las que se ha levantado el edificio de la historia de la Tierra. Términos como Jurásico, Cretácico, Pleistoceno u Holoceno, por citar algunos de los más populares, forman parte del diccionario geológico, y la gramática que los articula es la Guía estratigráfica internacional (International Stratigraphic Guide). Quien se encarga de velar por la rigurosidad de ambas es la Comisión Internacional de Estratigrafía (International Commission on Stratigraphy), dependiente de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (International Union of Geological Sciences). Pero todo esto lo analizaremos con detalle más adelante; lo que ahora nos interesa es situar el 'Antropoceno' en el contexto del rigor científico geológico.

Actualmente, el 'Antropoceno', definido provisionalmente como una época geológica o, mejor dicho, como candidato a una época geológica, está en periodo de estudio por parte de la Comisión Internacional de Estratigrafía, para su inclusión oficial (o no) en la tabla cronoestratigráfica internacional. Por lo tanto, se trata de una propuesta para crear una nueva unidad en la misma. Funcionalmente, aunque no conceptualmente, sería como proponer la existencia de un nuevo elemento en la tabla periódica, una nueva especie en la clasificación de los seres vivos o una nueva palabra en el diccionario. El argumento que se esgrime es que los humanos hemos cambiado la configuración y el funcionamiento de la Tierra como sistema a escala global, y de manera tan generalizada y pronunciada que las consecuencias ya son visibles en el registro geológico, es decir, en las rocas que se están formando en la actualidad. En otras palabras, ya existirían diferencias geológicas suficientes como para

justificar que la época en la que hemos vivido hasta hace poco, conocida como Holoceno, ha terminado, y ahora vivimos en una época geológica diferente, el 'Antropoceno'. El concepto de 'Antropoceno' está obviamente ligado al de "cambio global", como se conoce al conjunto de cambios ambientales derivados de las actividades humanas sobre el planeta; pero mientras este concepto hace referencia principalmente al funcionamiento del Sistema Tierra (dinámica atmosférica, cambio climático, ciclos biogeoquímicos, contaminación, etc.), el 'Antropoceno' se refiere a la expresión geológica de tal cambio. Esta connotación ambiental ha sido la principal causa de la popularidad del concepto de 'Antropoceno', no solo en el ámbito científico, sino también a nivel social, en general, lo que ha llevado a un clima de cierta urgencia por ver esta nueva época aprobada oficialmente. Muchos ven en el 'Antropoceno', considerada ya como época geológica oficial, un instrumento científicamente avalado que se podría utilizar para presionar a las autoridades competentes a desarrollar políticas efectivas para frenar la sobreexplotación y el deterioro de nuestro planeta.

En una situación así, cualquier novedad proporciona titulares y los medios de comunicación reaccionan inmediatamente, como ocurrió en septiembre de 2016. Aunque algunos medios prácticamente proclamaban a bombo y platillo la oficialidad del 'Antropoceno', la realidad es muy diferente. Lo que ocurrió en esas fechas fue que el grupo de trabajo que está elaborando una propuesta sobre 'Antropoceno' como época geológica para ser sometida a la Comisión Internacional de Estratigrafía se había reunido en el 35 Congreso Geológico Internacional, celebrado en Ciudad del Cabo entre el 27 de agosto y el 4 de septiembre, y había llegado a un acuerdo sobre una posible fecha para inicio del 'Antropoceno'. Pero de ahí a la aceptación oficial hay un largo trecho, pues el proceso puede durar todavía varios años y no necesariamente llevará a la aprobación de la propuesta.

La intención de este libro es explicar con cierto detalle la situación actual del asunto y cómo se ha llegado a la misma para proporcionar una base factual que contribuya a que

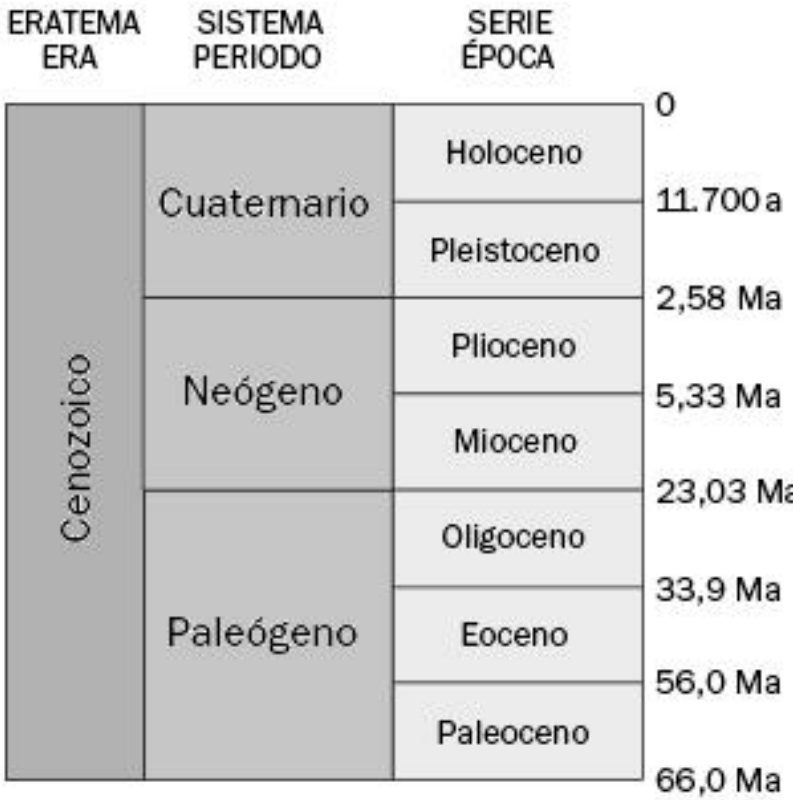
cualquier persona interesada pueda formarse una opinión propia sobre el tema y mantenerse al margen de informaciones falsas. En este sentido, no hay que echar toda la culpa a los medios de comunicación, puesto que Internet está inundado de disquisiciones y opiniones totalmente erróneas. La misma Wikipedia contiene una serie de afirmaciones completamente falsas sobre el 'Antropoceno'. También existen muchos artículos y libros de divulgación que se refieren al tema en términos equivocados. Incluso en el ámbito científico podemos encontrar gazapos importantes. La vanidad y las ansias de protagonismo y notoriedad de algunos científicos y pseudocientíficos contribuyen a tergiversar el panorama y confundir a la opinión pública, lo cual repercute en una creciente desconfianza por parte de la sociedad (y también de la clase política, a la que no conviene dar este tipo de ayudas extra) hacia la ciencia.

El libro empieza (capítulo 1) con una pincelada histórica que ilustra que el término 'Antropoceno' no es el único ni fue el primero propuesto para reconocer explícitamente la huella humana en el registro geológico. Desde hace más de 140 años se han ido sugiriendo varios términos similares, aunque con diferentes jerarquías en la escala geológica (era, periodo, época…). El segundo capítulo explora brevemente cómo las actividades humanas han cambiado la faz de la Tierra y el funcionamiento de la biosfera, y cómo esto ha ido quedando plasmado en el registro geológico, como base empírica para la eventual definición de una nueva época. El capítulo 3 trata la parte "legal" del asunto, es decir, las leyes que gobiernan la tabla cronoestratigráfica internacional y cómo la Comisión Internacional de Estratigrafía vela por su cumplimiento. Asimismo, sitúa el 'Antropoceno' en este esquema y evalúa las perspectivas actuales en relación con su posible aceptación como época oficial. En el cuarto capítulo analizamos la polémica surgida a raíz de la propuesta del 'Antropoceno' como época formal de la tabla cronoestratigráfica internacional, ya que, lejos de ser una aspiración unánime, existe bastante controversia sobre la conveniencia o no de tal oficialización. Finalmente, el quinto capítulo analiza lo que podría suponer la aprobación oficial del 'Antropoceno' para el

futuro de la tabla cronoestratigráfica internacional y especula sobre cómo la humanidad del futuro podría condicionar la subdivisión del tiempo geológico. El epílogo es un intento de síntesis de todo lo explicado anteriormente con base en una serie de preguntas clave y las respuestas que hasta el momento podemos dar. El libro termina con una cronología de los hitos más significativos relatados en los capítulos anteriores y un glosario donde se puede encontrar el significado de los términos y abreviaturas de carácter más especializado, que requieren alguna explicación adicional.

Figura 1

Subdivisiones del Cenozoico, era en la que nos encontramos, según la tabla cronoestratigráfica internacional vigente. A la derecha se indica la edad, en años (a) o millones de años (Ma) antes del presente. Se indican las unidades cronoestratigráficas (eratema, sistema, serie) y las geocronológicas (era, periodo, época), cuyo significado y naturaleza se explican en detalle en el capítulo 3.



Antes de empezar debemos hacer una precisión terminológica para que no haya confusiones. Para los términos oficiales, es decir, los aceptados por la Comisión Internacional de Estratigrafía y reflejados en la tabla cronoestratigráfica internacional vigente (como por ejemplo el Cenozoico o el Cuaternario), utilizaremos nombres sin comillas, mientras que los términos informales, aquellos que no han sido incorporados al esquema estratigráfico oficial (por ejemplo, el 'Antropozoico') o que están en proceso de evaluación (como es el caso del 'Antropoceno'), usaremos comillas simples. Las expresiones y párrafos entrecomillados o en formato de cita corresponden a citas originales de la bibliografía traducidas libremente por el autor. En cuanto a las categorías de las unidades geológicas, por ahora no debemos preocuparnos

mucho, ya que se tratarán en el capítulo 3. De momento, para seguir bien los razonamientos y explicaciones, basta saber que la unidad mayor que trataremos son las eras, que están subdivididas en periodos, y estos, a su vez, en épocas. Actualmente nos encontramos oficialmente en la época del Holoceno, que se inició hace unos 11.700 años, perteneciente al periodo Cuaternario, con 2,58 millones de años de duración, dentro de la era del Cenozoico, que se inició hace 66 millones de años (figura 1). En el capítulo 3 nos ocuparemos con más detalle de las categorías de las unidades geológicas, su terminología y su definición formal.

Agradecimientos

La idea de escribir este libro surgió de la invitación para dar la conferencia inaugural de un ciclo dedicado al 'Antropoceno' en la Delegación del CSIC en Barcelona, por lo que agradezco a los organizadores de dicho ciclo y al personal del CSIC involucrado su gentileza y el apoyo recibido. También debo agradecer a mis colegas Alberto Sáez, profesor de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Barcelona, y Santiago Giralt, investigador del Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera del CSIC, la revisión exhaustiva y detallada del manuscrito, lo cual contribuyó a mejorar el texto original, tanto en aspectos formales como de contenido. El responsable de la Unidad de Comunicación de mi instituto, Jordi Cortés, ha estado siempre pendiente de las noticias que iban saliendo sobre el tema, lo cual me ha facilitado el acceso a información actualizada que de otra manera no hubiera conocido.

Capítulo 1

Un poco de historia: del ‘Antropozoico’ al ‘Antropoceno’

Desde mediados del siglo XIX se han ido acuñando diferentes términos que hacen referencia a las posibles consecuencias de la presencia humana en el planeta Tierra. En este capítulo repasamos los principales términos e ideas relacionados con este tema, en orden cronológico. Hay que puntualizar que existe una evidente desconexión conceptual entre los diferentes términos surgidos, de manera que cada uno de ellos parece haber aparecido de la nada, y las referencias a términos anteriores similares es rara, por no decir nula. Aquí establecemos algunas relaciones entre estos términos para dar cierta continuidad lógica al desarrollo de las ideas, pero esto no significa que los proponentes de los diferentes conceptos lo hicieran. La impresión general es que la gran mayoría de vocablos e ideas que iban surgiendo carecían de precursores, tanto terminológicos como conceptuales, lo cual no es así.

El ‘Antropozoico’

En 1854, el geólogo y teólogo galés Thomas Jenkyn llamó “antropozoicas” a las rocas formadas desde que la humanidad empezó a poblar la Tierra. Un par de años más tarde, el también geólogo y reverendo irlandés Samuel Haughton (1856) denominaba “antropozoica” a la época (según sus propias palabras) en que vivimos, cuyo principio era, según él, la creación del hombre. Ni Jenkyn ni Haughton hacían referencia a las consecuencias de las actividades humanas sobre el funcionamiento de los sistemas terrestres ni sus posibles manifestaciones geológicas. Para ellos, la creación del hombre como especie superior a todas las demás era suficiente para justificar la definición de una nueva unidad de tiempo geológico.

Las connotaciones ambientales de la presencia humana en el planeta llegaron una década más tarde, de la mano del precursor de los movimientos conservacionistas modernos, el diplomático y filólogo estadounidense George Marsh (1864) quien catalogó los daños causados por los humanos en los ecosistemas y conminó a una actitud más responsable, dada la enorme capacidad transformadora de las actividades humanas. Marsh no utilizó el término ‘Antropozoico’ ni ningún otro parecido para referirse a este estado de cosas, que creyó insuficiente para definir una nueva etapa geológica.

Quien unificó la terminología de Jenkyn y Haughton con los conceptos ambientalistas de Marsh fue el geólogo y sacerdote italiano Antonio Stoppani (figura 2) que, en 1873, propuso que la influencia de las actividades humanas sobre la Tierra era suficientemente evidente, intensa y extendida como para hablar de una nueva era geológica: el ‘Antropozoico’ —nótese que Stoppani habla de era y no de época, como hacía Haughton —. Este autor expresó así la idea en su Curso de geología

(1873), concretamente en el segundo volumen, dedicado a la estratigrafía:

Es por ello, precisamente, que no dudo en proclamar la era antropozoica. La creación del hombre representa la introducción de un elemento nuevo en la naturaleza, con una fuerza del todo desconocida en mundos anteriores. Y que quede claro que hablo del mundo físico, ya que la geología es la historia del planeta y no del mundo intelectual y moral. Pero el nuevo ser instalado en el viejo planeta, el nuevo ser que no solo, como los antiguos habitantes del planeta, une el mundo orgánico e inorgánico, sino que, de forma totalmente nueva y misteriosa, une la naturaleza física con el principio intelectual y moral; esta criatura absolutamente nueva en sí misma es, para el mundo físico, un nuevo elemento, una nueva fuerza telúrica que, por su fuerza y universalidad, no palidece frente a las mayores fuerzas del globo [...] Estamos solo al principio de la nueva era; sin embargo, ¡cuán profunda es ya la huella del hombre sobre la Tierra! A pesar del poco tiempo que hace que el hombre ha tomado posesión de ella, cuántos fenómenos geológicos podemos ya atribuir, no a los agentes telúricos, a la atmósfera, al agua, a los animales terrestres o marinos, sino a la inteligencia del hombre, en su ansia invasora y dominante.

Para Stoppani, el 'Antropozoico' sucedía al 'Neozoico', como se conocía por aquellos tiempos al actual Cenozoico, en el que vivimos, que empezó hace unos 66 millones de años con la extinción de los dinosaurios y la explosión evolutiva de los mamíferos. En el mismo libro, Stoppani abunda en ejemplos de cómo la actividad humana desafía las fuerzas telúricas y modifica los procesos geológicos y, por lo tanto, influye en el diseño de las rocas que se están formando en la actualidad. Entre otros casos, menciona las enormes extensiones de terrenos cultivados, en comparación con lo que se conoce como tierras vírgenes, si es que queda alguna a la que se pueda considerar como tal, según sus propias palabras. También

resalta las obras de ingeniería que han cambiado los cursos de agua naturales y han atenuado o eliminado las expansiones aluviales, modificando así los patrones sedimentarios. Cuenta que las explotaciones mineras destruyen montañas enteras y excavan innumerables galerías para extraer y consumir, en pocos años, lo que la naturaleza ha tardado millones de años en fabricar. Y qué decir de la construcción de grandes ciudades y obras de ingeniería que, progresivamente, hacen "… desaparecer la tierra bajo las reliquias de la industria humana". Ni siquiera el mar puede escapar al dominio humano, sigue Stoppani, poniendo como ejemplo la continua modificación del litoral marino como consecuencia de la construcción de represas o el desecamiento de lagunas costeras para ganar tierras cultivables. La atmósfera también se ve modificada por las actividades humanas al recibir los productos gaseosos de la industria y del fuego.

Figura 2

Antonio Stoppani (1824-1891).

Stoppani no solo reconocía los efectos visibles en la superficie de la Tierra, sino que destacaba el hecho de que los restos de actividades humanas empezaban a acumularse siguiendo las leyes de la estratigrafía. Ya era posible identificar y estudiar rocas de origen humano y diferenciar sus estratos según las distintas culturas que las habían originado, lo cual significaba que el 'Antropozoico' no era solo una conjetura teórica o una propuesta futurista, sino que se empezaba a expresar en términos de evidencias geológicas del pasado. En otras palabras, la nueva "era" ya disponía de registro geológico: "Ya se pueden contar series de estratos donde se puede leer la historia de las generaciones humanas, al igual que antes se leía la historia de las antiguas faunas en el fondo de los mares". Buenos ejemplos serían los yacimientos arqueológicos que contienen sucesiones de instrumentos y otros restos de diversos estilos y materiales como testimonio de cambios culturales, entre los que Stoppani menciona herramientas y armas de bronce y objetos de cerámica.

Además de definir el 'Antropozoico' y de poner de manifiesto la existencia de rocas representativas del mismo, Stoppani

también se preguntaba sobre su inicio y duración. Argumentaba que, dado lo reciente de la aparición del hombre, en comparación con el resto de eras geológicas, el 'Antropozoico' era un concepto ligado eminentemente al futuro, más que al pasado ("Cuando decimos era antropozoica no miramos hacia el escaso número de siglos que fueron, sino a aquellos que serán"). Stoppani consideraba la brevedad actual de su 'Antropozoico' como el mayor inconveniente para su aceptación por parte de la comunidad geológica. En cuanto al futuro, se preguntaba si, después de nuestra desaparición como especie, las huellas que habremos dejado en el registro geológico serán descifrables por otras inteligencias:

Admitamos, por extravagante que pueda parecer, que una inteligencia foránea viniera a estudiar la Tierra cuando la progenie humana, como aquella que pobló el mundo antiguo, haya desaparecido completamente. ¿Podrían estos seres estudiar la geología de nuestra época sobre la base que se alza el espléndido edificio de la ciencia de los mundos que fueron? ¿Podrían, del patrón de los aluviones, de la distribución de los animales y de las plantas, en fin, de las trazas dejadas por las fuerzas libres de la naturaleza, deducir las verdaderas condiciones naturales del mundo? Tal vez pudieran; pero siempre y únicamente teniendo en el punto de mira, introduciendo en todos sus cálculos, este nuevo elemento, el espíritu humano [...]. Estos futuros geólogos, al querer estudiar la geología de nuestra época, terminarían por narrar la historia de la inteligencia humana. Esta es la razón por la que creo que la época del hombre debe elevarse a la dignidad de una nueva era.

Finalmente, Stoppani intentó indagar sobre el posible inicio del 'Antropozoico', es decir, los inicios del hombre como agente geológico. Lo primero que hay que tener claro es que una cosa es el origen del hombre como especie, lo cual para Stoppani, como buen sacerdote, era materia de fe, y otra es la primera evidencia de presencia o actividad humana en las

rocas sedimentarias, que es lo que el Stoppani geólogo buscaba para definir su 'Antropozoico'. Lo primero que pensó fue el tipo de formaciones geológicas donde buscar y se le ocurrieron, entre otros, los deslizamientos, los depósitos lacustres y marinos, los aluviones recientes, los deltas, las marismas, las turberas, el guano, las cavernas, las morrenas glaciares y las rocas volcánicas recientes. Según Stoppani, las evidencias que había que buscar en este tipo de depósitos para considerarlos representativos del 'Antropozoico' eran "reliquias humanas", como él llamaba a los huesos u otros fósiles humanos, pero también productos de la actividad humana como "… armas, herramientas, edificios, toda huella de trabajo o todo producto de la industria o del arte".

Stoppani reconoce que identificar exactamente la primera aparición humana sobre la Tierra presenta dificultades todavía insuperables para la época debido, principalmente, al carácter cosmopolita de nuestra especie y a la dificultad de identificar dónde se originó para después expandirse por toda la Tierra. Pero no deja de intentarlo y, después de largas y bien documentadas disquisiciones, termina considerando que el 'Antropozoico' empieza con lo que llama la "Primera Edad de Piedra" o "Época Arqueolítica", caracterizada por la presencia de piedra tallada, lo que actualmente conocemos como Paleolítico, que coincide más o menos con el periodo Pleistoceno. Sin embargo, Stoppani precisa que esto es válido para Europa y que los conocimientos de la época no eran suficientes para una aseveración firme y universal.

Aquí solo hemos reproducido y comentado las frases e ideas más significativas e ilustrativas, pero Stoppani dedicó tres capítulos enteros (más de 120 páginas) a su 'Antropozoico', cuya lectura es altamente recomendable para darse cuenta de que este geólogo italiano no solo sentó las bases, sino que además proporcionó muchos argumentos para la existencia de una nueva era geológica caracterizada por las modificaciones introducidas por los humanos en la Tierra y su reflejo geológico. Stoppani, además de acuñar el nombre de esa nueva, la definió, subdividió y propuso la forma de caracterizarla, identificando los sedimentos donde habría que

buscarla y proponiendo las evidencias que serían necesarias para confirmar su existencia. También indagó sobre la forma de averiguar cuándo habría empezado dicha "era". A pesar de todo esto, Stoppani y su 'Antropozoico' han sido prácticamente olvidados por la historia. Este autor, profundamente católico, mezcla en su libro ciencia y religión, de manera que, al hablar de la especie humana, alude constantemente a su creación divina. Esto, sin duda, contribuyó a que sus ideas fueran relegadas por los geólogos de la época y no hayan resurgido hasta la actualidad, precisamente con la proposición del 'Antropoceno', como veremos hacia el final del capítulo. Sin embargo, Stoppani es el verdadero precursor de lo que tratamos en este libro, en todos los sentidos.

El ‘Psicozoico’

La era del ‘Psicozoico’ fue una propuesta del médico-geólogo estadounidense Joseph LeConte para referirse a la “Edad del Hombre”, caracterizada por el “reino de la mente”. En su libro de texto Elementos de geología (1883), propone que la era del ‘Psicozoico’ empieza en el Neolítico (la última parte de la Edad de Piedra, caracterizada por el uso de piedra pulida y el desarrollo de la agricultura y la domesticación de animales), lo cual difiere de la concepción de Stoppani, que situaba el principio de la era antropozoica mucho antes, en el Paleolítico. LeConte no hace mucho énfasis en la modificación del sistema planetario por parte de los humanos ni en las consecuencias geológicas de este hecho, como hacían Marsh o Stoppani; más bien recupera la concepción de Jenkyn y Haughton de la supuesta supremacía humana como ser supremo de la creación, sin hacer referencia a ninguno de estos autores. Algunas de las frases son notables: “El Cuaternario y, por supuesto, las edades previas, eran el reino de la fuerza bruta y la ferocidad animal. La condición que prevalecía era incongruente con la supremacía del hombre. La Edad del Hombre, por el contrario, se caracteriza por el reino de la mente. Por lo tanto, tal como era necesario, los animales peligrosos disminuyeron en tamaño y número, y los animales y plantas útiles fueron introducidos o preservados por el hombre”.

El ‘Psicozoico’ tampoco tuvo mucho éxito y pronto cayó en el olvido. Tal vez parte de la responsabilidad se deba al mismo LeConte que, en su libro, afirmaba que esta era suponía una especie de eslabón entre la geología y la arqueología, y que todo lo ocurrido desde la Edad de Bronce pertenecía al campo de la arqueología, no de la geología. Esto sitúa implícitamente la mayor parte del ‘Psicozoico’ en el campo de la arqueología, por lo que parece lógico que los geólogos no tuvieran mucho

interés en considerar esta posibilidad como una nueva era.

El ‘Antropógeno’

Hubo que esperar hasta después de la Primera Guerra Mundial para seguir con la idea de una nueva unidad geológica caracterizada por la influencia del ser humano sobre la Tierra. En 1922, el geólogo ruso Alexei Pavlov propuso el nombre de ‘Antropógeno’ para referirse al periodo correspondiente al género humano, para diferenciarlo del Paleógeno, caracterizado por los linajes más antiguos de mamíferos, y el Neógeno, o periodo de los mamíferos modernos. Algunas traducciones de la obra de Pavlov, que estaba escrita en ruso, también utilizan el término ‘Antropoceno’, con lo cual esta sería la primera vez que se menciona este vocablo, aunque con un significado distinto a su acepción actual.

Pavlov fue más conservador que Stoppani y LeConte, al abogar por el establecimiento de un nuevo periodo y no una nueva era geológica. También es importante hacer notar que Pavlov no restringe el ‘Antropógeno’ a nuestra especie, como hacían los anteriores, sino que lo extiende a todo el género Homo, incluyendo otras especies como el Homo erectus o el Homo habilis, por citar las más conocidas. Esto representa una aceptación implícita de la evolución humana como un primate más, a diferencia de Haughton o Stoppani que, como buenos sacerdotes, eran creacionistas. Aunque el término ‘Antropógeno’ fue usado con frecuencia por la escuela rusa de geología hasta mediados del siglo XX, no ha cuajado en la literatura internacional ni se ha incluido en la escala de tiempo oficial. Hoy en día se le considera un término informal, más o menos equivalente al periodo Cuaternario.

La noosfera

Poco después, el teólogo jesuita francés Pierre Teilhard de Chardin, que también era geólogo (concretamente paleontólogo), el matemático y filósofo francés Édouard Le Roy y el geoquímico ucraniano Vladímir Vernadsky crearon el concepto de noosfera (también noösfera o noósfera), por analogía con la atmósfera o la biosfera, que denotan, respectivamente, las esferas del aire y de la vida. Ni la cronología ni la autoría de este término están todavía muy claras, pero se suelen atribuir a un acuerdo alcanzado entre los tres autores mencionados hacia 1924, aunque algunos de ellos parecen haber utilizado el término anteriormente. La noosfera, cuyo prefijo griego (noos, noos) significa "mente" sería, pues, la esfera de la mente. Si la biosfera es la capa viviente de la Tierra, la noosfera se podría definir como la capa pensante del planeta. En su libro El fenómeno humano, Teilhard concebía el universo no como algo estático y ordenado, sino como un ente dinámico, en continuo proceso de transformación, cuyo primer estadio fue la materia inanimada, seguido por la aparición de la vida y, finalmente, el surgimiento del ser humano que, según él, es cuando la evolución cósmica se hace consciente en la Tierra, creando la noosfera. Pero esta noosfera no sería la culminación de la cosmogénesis (el origen y desarrollo del universo), sino que debería existir un estado evolutivo superior, una "operación psico-biológica gigante" que condujera a una "mega-síntesis", con el desarrollo de una "súper-alma por encima de todas las almas"; en definitiva, un ente superhumano, un estado diferente de energía consciente, el Punto Omega. Naturalmente, este es un estado difícil de imaginar, más bien una proposición filosófica, que Teilhard definía como un nuevo estado de la energía cósmica, "… esa entidad universal cambiante, de la que todo emerge y donde todo acaba volviendo, como a un océano… el nuevo espíritu… el nuevo dios".

Así pues, en la actualidad, nos encontraríamos en el tercer estadio de desarrollo del cosmos, la noosfera, en su camino hacia la culminación evolutiva o Punto Omega. Pero esta noosfera no habría hecho más que empezar y estaría en proceso de construcción, por lo que Teilhard llama a la humanidad a moldear este nuevo estado de la realidad cósmica, que debería dar lugar a una "… esfera de conciencia mutuamente reforzada, el asiento, soporte e instrumento de la súper-visión y las súper-ideas". En otras palabras, la noosfera no se llegará a desarrollar plenamente sin la voluntad humana, en un esfuerzo colaborativo de "cerebralización" y desarrollo de una "gran máquina pensante" colectiva. Si Teilhard hubiera conocido Internet, seguramente se habría entusiasmado con la idea de disponer del vehículo perfecto para la construcción de su noosfera. Como es fácil suponer, la visión de Teilhard tiene importantes connotaciones religiosas, lo que le causó problemas con la iglesia de la que formaba parte y fue considerado subversivo y silenciado por el Vaticano. Sus obras no se publicaron hasta después de su muerte, que ocurrió en 1955.

Pero más allá de la concepción eminentemente filosófica de Teilhard, fue Vernadski quien realmente desarrolló la idea de noosfera en términos científicos. Vernadsky escribía en ruso y sus ideas no penetraron en la cultura occidental hasta que sus obras empezaron a ser traducidas al francés y, posteriormente, al inglés, pero se le considera el padre de la biogeoquímica y el fundador de lo que hoy llamamos ecología global. Para Vernadsky, las claves de la transición biosfera-noosfera fueron la industrialización, asociada a la invención de la máquina de vapor, y el descubrimiento de la energía atómica, que revolucionaron la actividad productiva de la humanidad y, como consecuencia, su capacidad transformadora de la biosfera. El concepto de noosfera de Vernadsky se encuentra bien desarrollado en su libro El pensamiento científico como fenómeno planetario, publicado en inglés más de 30 años después de su muerte, donde defiende que, si bien las nuevas formas de energía inician la transición biosfera-noosfera, el motor de esa transformación es el pensamiento científico que ha surgido "… después de cientos de millones o billones de

años de evolución, que han dado lugar al Homo sapiens faber, un fenómeno geológico que no es en absoluto transitorio". La idea principal de Vernadsky puede resumirse en el siguiente párrafo del mencionado libro:

La materia viva es la portadora, y a la vez creadora, de un tipo de energía libre que no existe en tal grado en ninguna otra capa de la Tierra. Esta energía libre —energía biogeoquímica— incluye la totalidad de la biosfera y determina enteramente su historia. Estimula y transforma radicalmente la intensidad de migración de los elementos químicos que componen la biosfera y determina su significado geológico. Durante los pasados diez mil años se ha generado una nueva forma de energía en el reino de la substancia viva, aún más compleja, cuya importancia crece rápidamente. Esta nueva forma de energía, asociada a las actividades vitales de las sociedades humanas, del género Homo y otros íntimamente relacionados (homínidos), a la vez preserva la expresión de la energía biogeoquímica ordinaria y proporciona nuevas formas de migración de los elementos químicos que, en su diversidad y poder, dejan atrás la energía biogeoquímica ordinaria de la materia viva. Esta nueva forma de energía, que podría denominarse energía de la cultura humana o energía cultural biogeoquímica, es una forma de energía biogeoquímica que crea la actual noosfera.

Vernadsky vuelve a la idea de Stoppani (al que, por cierto, no menciona) del hombre como una nueva fuerza geológica, lo que proyecta la idea metafísica de la noosfera de Teilhard de Chardin al mundo real. Otra precisión importante es que Vernadsky ya no habla del pensamiento humano, en general, sino del pensamiento científico, al que no considera como mera construcción lógica determinada racionalmente, sino una labor creativa inherente a la vida misma, es decir, poco menos que inevitable. Al igual que Marsh, y a diferencia de Teilhard (cuya visión de la noosfera es intrínsecamente optimista), Vernadsky ve en una biosfera completamente dominada por la

humanidad, donde los procesos geológicos se han acelerado, un motivo de preocupación, para que el advenimiento de la noosfera no signifique la destrucción de la biosfera. Así pues, incluye dos aspectos más pragmáticos, ya avanzados a finales del siglo XIX en el contexto del 'Antropozoico' de Stoppani, como son las manifestaciones geológica y ambiental de la noosfera. Una diferencia, también importante, con la idea del 'Antropozoico' de Stoppani es que Vernadsky, aunque habla de la posible trascendencia geológica de la noosfera, no intenta definir ni caracterizar formalmente una nueva unidad geológica, ya sea una era, una época o cualquier otra, como hizo el italiano. De hecho, en su libro Geoquímica, Vernadsky adopta explícitamente el término 'Psicozoico', anteriormente definido por LeConte, para referirse a la era en que vivimos. La idea de la noosfera ha quedado en la historia como un nuevo estado, el tercer estado, en la evolución del Sistema Tierra como un todo más que como una nueva unidad geológica que añadir al esquema cronoestratigráfico vigente.

La Edad Atómica

En 1946, el periodista lituano-estadounidense del New York Times William Lawrence acuñó el término “Edad Atómica”, también conocida como “Era Atómica”, para definir la fase en que había entrado la Tierra después de la primera detonación nuclear ocurrida al final de la Segunda Guerra Mundial, en 1945. Se trata de un término que hace referencia a una determinada fase de la historia humana reciente, sin ninguna connotación geológica en sí misma. Sin embargo, este término debe tenerse muy presente porque coincide exactamente en el tiempo con la versión más moderna del concepto de ‘Antropoceno’, como veremos en el capítulo 3.

La antroposfera

En 1966 aparece en la literatura el término “antroposfera”, de la mano del geógrafo ruso Ivan Ivanovich Elkin. Al principio, este término se utilizó en geografía para definir lo que se denominó antroposfera técnica, consistente en los elementos construidos por la humanidad, visibles en fotos aéreas de áreas urbanas. Pronto derivó en una especie de sinónimo de todo lo que llamamos artificial, en contraposición a lo natural, o todavía intocado por los humanos, y se empezó a considerar como un compartimento más del sistema planetario, análogo a la biosfera, atmósfera, litosfera o hidrosfera. Esto ya implicaba una connotación funcional dentro del Sistema Tierra.

El término antroposfera quedó firmemente establecido en la literatura y, recientemente, se ha definido como la capa o esfera del Sistema Tierra donde las actividades humanas constituyen una fuente significativa de cambio, a través del uso y la transformación de los recursos naturales, así como de emisiones y de deposición de residuos. Intrínsecamente, la antroposfera no posee ninguna connotación geológica relacionada con la definición de una nueva unidad estratigráfica.

El antropostroma

En 1984, el geólogo italiano Pietro Passerini introdujo el concepto de antropostroma y lo definió como el conjunto de todos los artefactos relacionados con la existencia humana y sus actividades, lo que Stoppani había denominado las "reliquias humanas". Según Passerini, que tampoco menciona a Stoppani, el antropostroma se caracteriza por una geometría repetitiva (pensemos, por ejemplo, en los edificios o los medios de transporte), la creación de nuevos flujos de materia y energía, además de los naturales, y una restricción de libertades funcionales (o un aumento del determinismo), tanto para los elementos humanos como no humanos. Para ilustrar este último punto, Passerini pone lo que llama un ejemplo banal: los ecosistemas naturales son diferentes en distintas condiciones ambientales, mientras que los antropostromas tecnológicos tienden a homogeneizarse, al depender más de su funcionamiento interno que del ambiente exterior.

La parte no humana del antropostroma sería el antropostroma tecnológico. La tendencia global del antropostroma, como un todo, es hacia la expansión, como se ve claramente en los núcleos urbanos, lo que, según Passerini, repercutirá en una aceleración de la degradación ambiental y el empobrecimiento de los recursos naturales. En sus argumentos, Passerini se refiere con frecuencia al antropostroma como a un ecosistema artificial, en contraste con los ecosistemas no afectados por las actividades humanas o naturales. El concepto de antropostroma tampoco se ha mantenido en la literatura científica ni en otros ámbitos profesionales, pero recientemente ha sido reformulado, bajo denominaciones como antroposfera (en la concepción actual del término, aunque no en la original de Elkin) o tecnosfera (un concepto ya avanzado por Vernadsky), como veremos más adelante, aunque sin mencionar a Elkin ni a Passerini ni, por supuesto, a

Stoppani. La idea del antropostroma como ecosistema también se ha retomado recientemente, como también veremos en el capítulo 2, bajo el término "antroma", también sin mencionar a Passerini.

El ‘Tecnógeno’

En 1988, el ingeniero geólogo armenio George Ter-Stepanian propuso que la influencia humana sobre la Tierra se habría intensificado notablemente durante el Holoceno, aunque sin especificar un punto concreto, gracias al desarrollo de la tecnología, por lo cual proponía que el Cuaternario ya había finalizado y nos encontrábamos en el periodo ‘Quinario’ o ‘Tecnógeno’, que se consolidaría totalmente durante el próximo milenio. El ‘Tecnógeno’ tampoco ha cuajado, geológicamente hablando, pero ha podido dar lugar a otras expresiones informales como por ejemplo tecnosfera, que se suelen usar en otros campos, y que fue definido y caracterizado hace poco por los abogados del ‘Antropoceno’, como veremos al final del capítulo.

El ‘Ecozoico’

Otra propuesta que aparece en la literatura es la era del ‘Eco-zoico’, creada en 1992 por el estadounidense Thomas Berry. Este sacerdote e historiador recoge el testigo de Teilhard de Chardin y aboga por un nuevo estado cosmológico en que la humanidad, después de maltratar a la Tierra con el uso indebido de la tecnología, debería evolucionar hacia un estado de “comunión de contingencias” y vivir en armonía con el planeta como un todo. Este estado es el ‘Ecozoico’. Berry escribe:

La salud de la Tierra es esencial para el bienestar de cada criatura viviente del planeta; sin embargo, nuestra devastadora economía industrial ha desajustado los biosistemas de la Tierra. Esta negligencia no puede continuar. La medicina está en la misma situación que la totalidad de las actividades humanas: debemos buscar una forma de existir en armonía con el mundo natural. Hemos estado tan atrapados en nuestra capacidad científica de alterar el mundo natural que hemos ignorado su estructura más básica. Debemos, por lo tanto, entrar en una nueva era, la era ecozoica, un periodo en que los humanos deberíamos vivir sobre la Tierra en un estado de beneficio mutuo. Esta transición requerirá cambios profundos en la actividad humana. Los principios básicos de la era ecozoica son: i) los humanos debemos reconocer el universo como una comunión de contingencias, no una colección de objetos; ii) la Tierra es primaria, mientras que los humanos somos derivados, y iii) el planeta jamás volverá a funcionar como lo hacía en el pasado. Para entrar en la era ecozoica, los humanos necesitamos ciencias que creen una nueva forma de entender el mundo natural como poseedor de sus propias y únicas espontaneidades.

Como Vernadsky, que hablaba del funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos a nivel global y su modificación por las actividades humanas, Berry hace referencia explícita al Sistema Tierra como un todo funcional. Según esta concepción, actualmente nos encontraríamos en el 'Tecnógeno' de Ter-Stepanian, dominado por una "tecnosfera" (concepto que veremos más adelante), y deberíamos evolucionar hacia lo que algunos llaman una "ecosfera", un estado de equilibrio ecológico entre los humanos y la Tierra, que caracterizaría el 'Ecozoico' y que coincide, en parte, aunque no totalmente, con la noosfera, según la concepción de Teilhard, pero no con la original de Vernadsky.

El ‘Antroceno’

También en 1992, el periodista científico estadounidense Andrew Revkin publicó un libro de divulgación titulado Calentamiento global: entendiendo el pronóstico, donde se podía leer:

Y ahora los seres humanos y el resto de los habitantes del planeta deben prepararse para un nuevo periodo de cambio. Los humanos, por lo menos, han demostrado estar bien adaptados a climas perpetuamente, aunque gradualmente, cambiantes. Pero este cambio parece que ocurrirá unas 10 o 15 veces más rápido que lo experimentado durante los ciclos de hielo y calor en el seno de los cuales casi todo el desarrollo humano —tanto evolutivo como cultural— ha tenido lugar […] Tal vez los científicos que estudian la tierra nombrarán esta nueva era postholocena de alguna manera que la relacione con su causa, nosotros. Estamos entrando en una edad que algún día se podría llamar, digamos, ‘Antroceno’. Después de todo, se trata de una edad geológica hecha por nosotros mismos.

La diferencia entre ‘Antroceno’ y ‘Antropoceno’ es tan mínima que pueden incluso inducir a errores de lectura, de manera que Revkin casi podría considerarse el verdadero promotor del término que aquí tratamos, aparte de las traducciones del ruso Pavlov mencionadas anteriormente. Más tarde, después de la definición del ‘Antropoceno’, Revkin, en un alarde de objetividad y buena voluntad, reconoció que él había usado una etimología inadecuada (el prefijo griego adecuado para la cualidad de humano es “antropo-”) y el término ‘Antropoceno’ le parecía más correcto para lo que quería expresar. El convencimiento de este periodista es tal que actualmente

forma parte del grupo de trabajo que está elaborando la propuesta para el reconocimiento oficial del 'Antropoceno'.

El ‘Antropoceno’

A pesar de la magnitud de las proposiciones y la contundencia de los argumentos, casi ninguna de las opciones propuestas desde Stoppani hasta Revkin se tradujo en una propuesta formal, es decir, elevada a las autoridades y/o comisiones científicas competentes, de modificar la tabla cronoestratigráfica internacional, lo que sí ocurrió (o, para ser más exactos, está ocurriendo) con el ‘Antropoceno’. La consolidación de este término empezó el año 2000, con su proposición por parte del químico atmosférico holandés Paul Crutzen (que había recibido el Premio Nobel de Química en 1995 por sus trabajos sobre el ozono) y el ecólogo norteamericano Eugene Stoermer. Estos autores reviven al gran olvidado Antonio Stoppani y su ‘Antropozoico’, a la vez que mencionan el concepto de noosfera y sus creadores (en este caso no mencionan a Revkin, el creador del término ‘Antroceno’, pero posteriormente, en 2014, otros defensores del ‘Antropoceno’ corrigen el descuido y consideran que ‘Antroceno’ y ‘Antropoceno’ tienen el mismo significado).

Después de describir brevemente cómo las actividades humanas han impactado la Tierra y su atmósfera a escala global, Crutzen y Stoermer proponen el uso del término “antropoceno” (en minúsculas y entre comillas en el original) para la época geológica actual. No mencionan ninguna razón para escoger la categoría de época y no otra (era, periodo). Al parecer, Stoermer ya venía usando este término desde hacía un par de décadas, pero no lo había hecho explícito y público hasta conocer a Crutzen. Los promotores del ‘Antropoceno’ también proponían una fecha para su comienzo, que situaban en la segunda mitad del siglo XVIII, aunque se muestran abiertos a otras propuestas. El principio del ‘Antropoceno’ (y, por lo tanto, el final del Holoceno) vendría determinado, según sus creadores, por el espectacular incremento de gases de

efecto invernadero (sobre todo el CO2 y el CH4), coincidiendo con la invención de la máquina de vapor por James Watt, hacia el final del siglo XVIII. Con respecto a la duración del 'Antropoceno', Crutzen y Stoermer opinaban: "En ausencia de una catástrofe mayor como una enorme erupción volcánica, una epidemia inesperada, una guerra nuclear a gran escala, el impacto de un asteroide, una nueva Edad de Hielo o el continuo saqueo de los recursos de la Tierra por una tecnología todavía parcialmente primitiva (aunque las últimas cuatro amenazas pueden ser evitadas por una noosfera realmente funcional) la humanidad seguirá siendo una fuerza geológica mayor durante muchos milenios, tal vez millones de años".

Es importante resaltar que estos autores adoptan el concepto de noosfera y lo hacen en un sentido constructivo, similar al de Teilhard de Chardin, asimilándolo a lo que conocemos como sociedad del conocimiento o de la información, que debería conducir, según ellos, a "… un manejo ambiental global y sostenible", algo parecido al 'Ecozoico' de Thomas Berry. Desde ese momento, el uso del término 'Antropoceno', a pesar de ser informal, ha crecido exponencialmente hasta establecerse como el término por excelencia para designar la situación actual de las relaciones entre la humanidad y el planeta, no solo en el ámbito de la ciencia, sino también en la filosofía, la sociología, la comunicación, la política e incluso el derecho. Su uso es tan frecuente y extendido que muchos ya lo consideran oficial o lo utilizan como si lo fuera. Es de esperar que este libro contribuya a aclarar el panorama y mostrar la situación real del asunto, así como las posibilidades de futuros desarrollos. Pero, en este recuento histórico, todavía nos quedan un par de conceptos que se enmarcan en la idea del 'Antropoceno' y que han sido generados y defendidos por sus promotores.

La biosfera antropocena

En 2015, el paleobiólogo y paleoclimatólogo británico Mark Williams y sus colaboradores, que se cuentan entre los defensores más activos del concepto de 'Antropoceno', propusieron que la biosfera terrestre, a través de su historia, habría tenido tres grandes fases de desarrollo. A la primera la denominaron "fase microbiana" y estuvo caracterizada por la existencia de organismos microscópicos fundamentalmente procariotas, es decir, carentes de núcleo celular, y se habría extendido desde el origen de la vida, hace unos 3.800 Ma, hasta 650 Ma, cuando surgieron los metazoos o animales pluricelulares con tejidos y órganos, que dieron lugar a la segunda fase en desarrollo de la biosfera o "fase metazoaria".

La tercera fase estaría caracterizada por la "biosfera antropocena", cuyas principales diferencias con las anteriores serían: 1) la homogeneización global de flora y fauna; 2) el hecho de que una sola especie (Homo sapiens) acapara el 25-40% de la producción primaria neta actual y es capaz de utilizar la energía fósil como fuente adicional; 3) la influencia de nuestra especie sobre la evolución de otras, y 4) la relación creciente entre biosfera y tecnosfera. Propuesto de esta manera, aunque Williams y sus colaboradores no lo hacen explícito (aunque sí que lo sugieren), el 'Antropoceno' pasaría a tener una jerarquía superior al de época (como fue propuesto inicialmente) para convertirse en, por lo menos, una era, ya que, según ellos, persistiría a través de la historia geológica. Exactamente lo que decía Stoppani hace más de 140 años. La biosfera antropocena y la antroposfera de Elkin están relacionadas pero no coinciden, puesto que la primera incluye toda la biosfera, mientras que la segunda implica solo aquella parte de la biosfera modificada o dominada por las actividades humanas.

La tecnosfera física

El último concepto surgido hasta la escritura de este libro es el de "tecnosfera física", que deriva de la idea inicial de Vernadsky de "tecnosfera". Al final de 2016, los principales defensores del concepto de 'Antropoceno' de Crutzen y Stoermer, liderados por el geólogo de la Universidad de Leicester Jan Zalasiewicz, propusieron denominar tecnosfera física al "conjunto de productos de la empresa humana global", o sea, el resultado material de la aplicación de la tecnología humana en su conjunto, incluyendo las complejas estructuras sociales. Ahí incluían toda la infraestructura física y los artefactos tecnológicos que soportan el flujo de materia, energía e información que permiten el funcionamiento de la humanidad actual como sistema. En sus propias palabras: "Centrales eléctricas, líneas de transmisión, carreteras, edificios, granjas, plásticos, herramientas, aviones, bolígrafos y transistores", aunque también incluyen otros elementos como cultivos, pastos, embalses o residuos, en general. En fin, todo aquello que a veces también calificamos de artificial (por contraposición a lo natural) y que Stoppani ya adelantaba bajo la denominación de "reliquias humanas", a finales del siglo XIX.

El parecido con el concepto de antropostroma es evidente (de hecho, la tecnosfera, tal como está definida, coincide con el concepto de antropostroma tecnológico), pero Passerini es totalmente ignorado por los proponentes de la "tecnosfera física". Lo mismo ocurre con la "antroposfera tecnológica", un concepto muy similar avanzado, como hemos visto, en los años 1960 por Ivan Elkin. Zalasiewicz y sus colaboradores estimaron que la tecnosfera física totaliza unos 30 trillones de toneladas, lo cual es cinco órdenes de magnitud superior a la biomasa humana total, y supone unos 50 kg de tecnosfera por metro cuadrado de superficie terrestre. El mayor peso corresponde a

las áreas urbanas y rurales, con unos 17 trillones de toneladas en conjunto, seguidas de los pastos, con 5, los cultivos, con 4, y los fondos marinos sometidos a la pesca de arrastre, con 2. Con menos de un trillón de toneladas se encuentran los suelos erosionados, las carreteras, las plantaciones de bosques, los embalses y las estructuras ferroviarias.

Ciencia y justicia histórica

Lo que sigue no debe entenderse como una crítica al concepto ni la definición del 'Antropoceno', aspectos que trataremos en el capítulo 4, sino a una parte de sus defensores. Desafortunadamente, un denominador bastante común de nuestra cultura contemporánea es el olvido, voluntario o no, de los precursores de ideas que, de pronto y sin causa aparente, vuelven a ponerse de moda y se nos presentan como auténticas novedades, como si nunca nadie las hubiera imaginado antes. En muchos casos, esto es el producto de la velocidad vertiginosa a la que se acumula la literatura científica en nuestra sociedad actual, donde parece ser más importante la cantidad que la calidad, constantemente presionada por la urgencia impuesta por un sistema global basado en el capitalismo salvaje y sus métodos. Esto crea lo que el biólogo norteamericano Stephen Jackson ha llamado el "síndrome del aprendiz de brujo", haciendo referencia a lo complicado que se ha vuelto conocer todo lo que se ha escrito sobre determinado tema, tanto como difícil le resultaba al aprendiz de brujo de Goethe controlar las escobas que se iban multiplicando sin cesar. En otras ocasiones, lamentablemente, las omisiones son premeditadas, para adjudicarse la autoría del término o la idea en cuestión, confiando que nadie descubrirá su origen real, lo cual, con los medios de hoy en día, es una actitud poco menos que incomprensible.

Como no podía ser de otra manera, esto también ha ocurrido con el 'Antropoceno' y sus precursores, la mayoría de los cuales han sido olvidados o, muchas veces, simplemente evitados. Si bien es cierto que, como vimos antes, los principales promotores del 'Antropoceno' han reconocido la existencia de ideas parecidas en el pasado, también lo es que otros muchos han intentado hacer ver que el 'Antropoceno' no tuvo precursores (lo mismo que ocurre con la tecnosfera y

otros conceptos, como también hemos podido comprobar), como exponen, sin ningún rubor, los filósofos Clive Hamilton y Jacques Grinevald en un artículo reciente:

Varios autores han identificado "precursores" del nuevo concepto del Antropoceno, siendo las referencias más frecuentes a Antonio Stoppani, Vladimir Vernadsky y Pierre Teilhard de Chardin. El efecto, intencional o no, de encontrar tales precursores es subestimar la importancia de la nueva época geológica propuesta. Nosotros argumentamos que no hay precursores de la noción de Antropoceno y que no pudo haberlos porque el concepto (introducido el año 2000) es el resultado de la reciente comprensión interdisciplinaria de la Tierra como planeta en evolución surgida en los 1980 […] . Los científicos anteriores que hablaban sobre la "Edad del Hombre" lo hacían en términos de impacto humano sobre el ambiente, no sobre el Sistema Tierra.

Pero la historia es innegable y su testimonio inapelable, y no tenemos más remedio que rendirnos ante la evidencia de que el concepto subyacente al 'Antropoceno' hace tiempo que estaba formulado y convenientemente etiquetado. Basta con ir a las fuentes originales, como hemos hecho aquí, para corroborarlo. En estos casos, es mejor reconocer lo evidente porque lo contrario, dada la accesibilidad que existe actualmente a cualquier tipo de información[1], no hace sino poner en evidencia y desacreditar a aquellos que pretenden ignorar lo evidente.

Capítulo 2

La Tierra humanizada y sus huellas geológicas

Hoy en día ya no hay ninguna duda de que las actividades humanas han cambiado los ciclos de materia y energía del Sistema Tierra y están influyendo en su funcionamiento global. Un estudio reciente del geógrafo de la Universidad de Maryland Erle Ellis y sus colaboradores muestra que, entre 1700 y 2000, la biosfera terrestre hizo una transición decisiva de un estado mayoritariamente natural a otro principalmente antropogénico (es decir, transformado por la humanidad), alcanzándose el punto crítico del 50% en el siglo XX. Desde entonces, los biomas son predominantemente antropogénicos, tendencia que sigue aumentando. Esto llevó a Ellis y sus colegas a definir el concepto de "antroma" o "bioma antropogénico" como los nuevos sistemas ecológicos creados por la intervención humana en los ecosistemas naturales.

Según los creadores del término, aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie terrestre ya están cubiertas por antromas y no se podrá desarrollar una ecología del futuro sin considerar este hecho, que introduce no solo un nuevo concepto de ecosistema, sino también una forma distinta de dinámica ecológica donde los humanos son elementos fundamentales. El concepto no es tan nuevo, ya que es muy parecido al antropostroma de Passerini (capítulo 1), al que Ellis y sus colaboradores no mencionan. Tampoco escapa a nadie (o a casi nadie) que el ritmo actual de explotación de los recursos naturales, de contaminación y de acumulación de residuos es del todo insostenible y puede colapsar nuestro planeta. Según el sueco Johan Rockström y sus colaboradores, la humanidad ya ha transgredido tres de los nueve límites que se consideran críticos, como son las tasas de cambio climático y de pérdida de biodiversidad, así como la interferencia con el

ciclo del nitrógeno, que determina su acumulación progresiva en la biosfera. Las últimas estimaciones indican que, para seguir creciendo al ritmo actual, necesitaríamos 1,5 planetas como el nuestro y esto se agravará en las próximas décadas.

Pero lo que aquí nos ocupa no es la parte ambiental del asunto, que está abundante y suficientemente tratada en muchos libros y artículos especializados sobre el particular. Lo importante en nuestro caso es cómo este hecho se manifiesta en el registro geológico, es decir, cómo queda plasmado en las rocas que se están generando durante nuestra existencia, algo que Stoppani ya se preguntó y, como hemos visto, encontró algunas respuestas. En este capítulo esbozaremos, a grandes rasgos, la historia de las relaciones entre humanos y ambiente, y en cómo las modificaciones ambientales quedan reflejadas en las rocas que se van formando por acumulación progresiva de sedimentos o rocas sedimentarias.

Antes del Homo sapiens

La historia de las interacciones entre humanos y ambiente se remonta a nuestros ancestros homínidos, concretamente al Homo erectus, que ya era capaz de fabricar y usar herramientas y armas de piedra rudimentarias y, sobre todo, dominaba el fuego. Todo esto llevó a un cierto control del medio y contribuyó a un cambio importante de una dieta principalmente vegetariana a otra más variada, prácticamente omnívora, lo cual repercutió en un desarrollo físico y mental que lo diferenció definitivamente de otros simios. El cerebro aumentó unas tres veces de tamaño, alcanzándose la mayor relación cerebro/cuerpo del reino animal. Al principio, los homínidos todavía no eran capaces de modificar sustancialmente los ecosistemas en que vivían y, por supuesto, su tecnología aún no permitía influir en la composición química de la atmósfera o de los océanos a nivel global. Pero con el tiempo fue apareciendo el lenguaje hablado y escrito, lo cual permitió la acumulación de conocimiento y su transmisión de generación en generación, que derivó en la estructuración de civilizaciones complejas y la capacidad de manipular el ambiente.

La extinción de la megafauna pleistocena

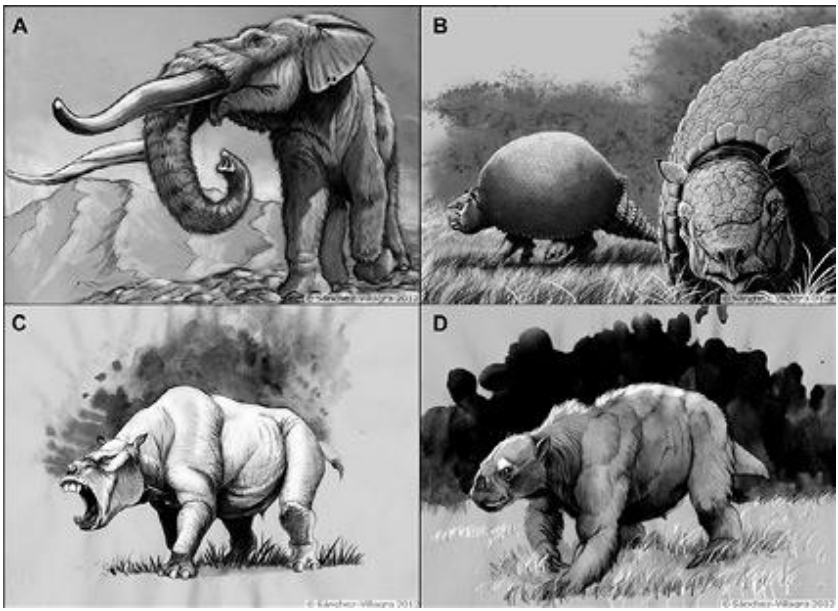
El primer impacto global importante que se suele mencionar ocurrió ya en tiempos del Homo sapiens y fue la extinción masiva de la megafauna ocurrida entre 50.000 y 13.000 años antes del presente o AP, poco antes de la transición entre el Pleistoceno y el Holoceno (figura 1). En este intervalo se estima que desaparecieron aproximadamente la mitad de las especies de grandes mamíferos (de más de 40 kg en edad adulta) en todo el mundo. La mayor extinción ocurrió en Australia, donde desapareció el 88% de las especies, seguido por Sudamérica, con el 83%, Norteamérica (72%), Eurasia (36%) y África, que solo perdió el 18% de las especies y por eso sus extensas sabanas siguen pobladas de gran cantidad de megafauna.

Todavía hay bastante controversia sobre si estas extinciones se debieron a la caza masiva por los humanos o a cambios climáticos que estos animales no pudieron resistir (o a ambos), pero la intervención humana, decisiva o no, fue parte del proceso, por lo que podría tratarse de la primera afectación global sobre la biosfera, la primera pérdida de biodiversidad asociada a diferentes actividades humanas.

La extinción de la megafauna, como es lógico, cambió sustancialmente la composición y el funcionamiento de muchos de los ecosistemas de todos los continentes; sin embargo, no hay evidencias de que ello tuviera un impacto apreciable sobre el funcionamiento del Sistema Tierra como un todo. El registro geológico es un testimonio infalible de la extinción de la megafauna (de hecho, constituye la evidencia en sí misma de tal fenómeno), ya que las rocas pleistocenas contienen abundantes fósiles de grandes mamíferos que desaparecieron de forma más o menos súbita, según el caso. La edad de esta extinción también varía.

Figura 3

Ejemplos de la megafauna sudamericana antes de la gran extinción anterior a 13.000 AP: A) mastodonte; B) armadillo gigante o gliptodonte; C) toxodonte; D) perezoso gigante o megaterio.



Fuente: Dibujos de Jorge González, cortesía de Marcelo Sánchez-Villagra.

Las extinciones más antiguas tuvieron lugar en Australia (hace unos 50.000 años) y las más recientes en América, hace unos 13.000 años. Antes de esa fecha, Sudamérica, por ejemplo, estaba poblada por elefantes (mastodontes), tigres diente de sable (smilodontes) o ejemplares gigantes de perezosos terrestres (megaterios) y armadillos (gliptodontes), entre muchos otros (figura 3), mientras que actualmente, a diferencia de África, los mamíferos de más de 40 kg son muy escasos o brillan por su ausencia. En muchos casos, los últimos

fósiles de grandes mamíferos se encuentran entremezclados con restos de carbón procedente de incendios y de puntas de lanza de piedra, lo que se interpreta como evidencia de caza masiva por parte de los humanos.

La Revolución neolítica

El segundo gran episodio importante en nuestro contexto está asociado con el desarrollo de la agricultura, que no solo diezma la vegetación original y facilita la extinción de las plantas autóctonas, sino que altera los ciclos biogeoquímicos, lo cual ya representa una alteración global. El inicio del desarrollo agrícola y su posterior expansión por el planeta se conoce como Revolución neolítica y empezó a principios del Holoceno. Esto representó un cambio del régimen de vida nómada de los cazadores-recolectores a otra más sedentaria, dedicada al cuidado de plantas y animales domésticos, que derivaría en el desarrollo de asentamientos permanentes y terminaría por dar lugar a las ciudades. La revolución se inició más o menos simultáneamente, hacia 11.000-11.500 años AP, en el Medio Oriente, Sudamérica y China, desde donde fue extendiéndose rápidamente hacia la totalidad de Europa, Asia, América y África entre los 7.000 y 4.000 años AP.

Se acepta que la gran mayoría de civilizaciones ya practicaban, en alguna medida, la agricultura entre 6.000 y 8.000 años AP. No hay duda de que la Revolución neolítica representó un cambio profundo y más o menos rápido para los ecosistemas y biomas afectados, sobre todo los boscosos, que empezaron a ser quemados y/o talados para convertirlos en campos de cultivo, lo cual iniciaría un cambio en el funcionamiento global del Sistema Tierra. Pero ¿cómo se manifiesta este cambio en el registro geológico?

La evidencia geológica más directa y mejor conocida de la aparición y expansión de la agricultura es la presencia de polen de plantas cultivadas en los sedimentos de lagos, ciénagas y turberas, así como en yacimientos arqueológicos, que no son otra cosa que rocas sedimentarias en formación. Otra manifestación es la formación de suelos oscuros, también

llamados suelos antropogénicos, debido al aumento de su contenido en materia orgánica como consecuencia de la agricultura y ganadería extensivas. El mayor desarrollo de estos suelos tuvo lugar entre 5.000 y 3.000 AP. Sin embargo, la llegada de la agricultura a cada rincón del planeta no fue simultánea, sino que dependió de las migraciones humanas, por lo que la aparición de polen de plantas cultivadas en los sedimentos de un lugar concreto de la Tierra no es un buen indicador de cambio global, como tampoco lo es la presencia de carbón procedente de los incendios forestales. En cambio, los procesos atmosféricos sí que nos pueden proporcionar indicadores del metabolismo global del planeta, capaces de ser preservados en las rocas. Veamos cómo.

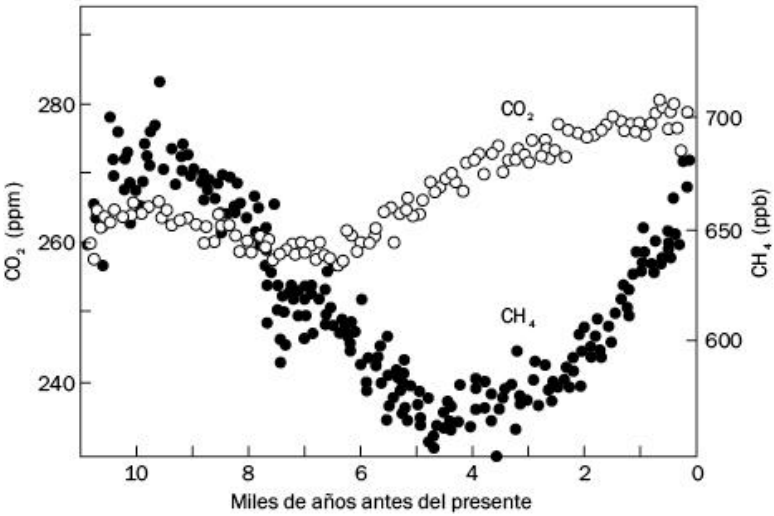
Cuando vamos al médico, una de las primeras pruebas que nos hacen es un análisis de sangre. Esta circula por todos los órganos y tejidos de nuestro cuerpo, por lo que contiene indicadores moleculares de su estado y funcionamiento general. Podríamos decir que es un resumen de nuestro metabolismo. Lo mismo ocurre con la atmósfera, cuyos gases son un reflejo del metabolismo general del planeta. La química atmosférica nos permite hacer un diagnóstico de la situación actual, pero para conocer el metabolismo de la Tierra en el pasado debemos recurrir al registro geológico. La pregunta es: ¿existe alguna forma de analizar la composición de la atmósfera del pasado? La respuesta es que sí. Los grandes mantos de hielo de las zonas polares son también un tipo de roca que se va formando por la continua acumulación de nieve (que se convierte en hielo por compresión), capa a capa, año tras año. En estos archivos sedimentarios podemos leer la historia a una resolución de años, puesto que las capas anuales se conservan y son identificables. Cuando la capa de hielo de un año determinado queda enterrada bajo las de años siguientes, las burbujas de aire que quedan atrapadas son el testimonio de la composición atmosférica del año en cuestión. Esto nos permite conocer la concentración de gases atmosféricos correspondientes a cada año y, de esta manera, reconstruir las tendencias de estos gases desde muchos milenios atrás (en la actualidad, poseemos registros de hasta 800.000 años atrás utilizando esta técnica). Así se ha podido

verificar la existencia de dos eventos significativos durante el Holoceno, caracterizados por un aumento en la concentración de gases que se utilizan con frecuencia para evaluar el metabolismo terrestre por su marcado efecto invernadero. Como se puede apreciar en la figura 4, el dióxido de carbono (CO_2) seguía una leve tendencia descendente hasta que, entre 8.000 y 7.000 años AP, se estabilizó y después empezó a crecer, tendencia que se ha mantenido. El metano (CH_4), por su parte, descendió notablemente hasta aproximadamente 5.000 años AP, momento en el cual experimentó un pronunciado ascenso que todavía sigue.

El paleoclimatólogo estadounidense William Ruddiman atribuyó el aumento de CO_2 a la gran expansión que sufrió la agricultura en Eurasia a partir de los 8.000 años AP, lo que significó la deforestación de gran parte del territorio que, por combustión de la materia orgánica, liberó CO_2 a la atmósfera. El incremento de metano fue atribuido por Ruddiman al auge del cultivo de arroz, que requiere terrenos inundados permanentemente, lo cual crea condiciones de anoxia que favorecen la formación de CH_4 y su expulsión a la atmósfera. El incremento de la irrigación registrado a partir de 5.000 AP para el mantenimiento de las condiciones de inundación habría provocado, según Ruddiman, el aumento de CH_4 atmosférico registrado en los hielos polares. La gran expansión de la ganadería, sobre todo el aumento de los rumiantes domésticos, también habría ayudado.

Figura 4

Cambios en la concentración de CO_2 y CH_4 durante el Holoceno, basados en el estudio de los mantos polares de hielo. El periodo industrial no se representa [ppm = partes por millón, ppb = partes por billón].



Fuente: Basado en Ruddiman (2013).

El mismo Ruddiman sugirió que estos fenómenos contribuyeron al aumento de la temperatura global del planeta (recordemos que tanto el CO2 como el CH4 son gases de efecto invernadero), lo cual habría retrasado el inicio de la próxima glaciación que, según sus cálculos, ya debería haber empezado. Estas hipótesis están todavía por confirmar y son muy discutidas, arguyendo que los aumentos de concentración de estos gases no son suficientes como para elevar significativamente la temperatura hasta el punto de detener una glaciación y que, aun sin la ayuda de cambios atmosféricos, considerando únicamente la dinámica natural del ciclo del carbono, la próxima glaciación no empezaría hasta dentro de, por lo menos, 10.000 años.

El descubrimiento de América

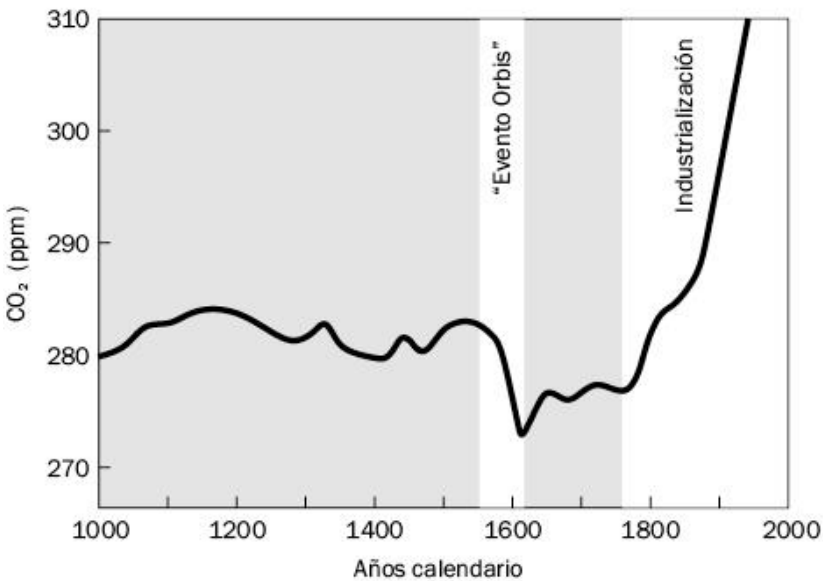
El próximo evento de consecuencias ambientales globales visibles en el registro geológico fue el descubrimiento de América por los europeos, en el siglo XV, que conectó todas las civilizaciones de la Tierra y que podemos considerar el primer paso de lo que hoy llamamos globalización. Tal vez la globalización más notable para la época fue la de los alimentos, lo que provocó una auténtica revolución biológica que se conoce como el "intercambio colombino", consistente, principalmente, en una mezcla de biotas que previamente se encontraban separadas, lo cual repercutió en muchos otros aspectos de la vida terrícola dando lugar a una reorganización de la biosfera sin precedentes. Naturalmente, todo esto se encuentra reflejado en las rocas. Por ejemplo, el polen de maíz, cuyo cultivo en América data de principios del Holoceno, se empieza a encontrar en los sedimentos lacustres y marinos europeos hacia el año 1600. A la inversa, existen evidencias sedimentarias, por ejemplo fitolitos (cristales de sílice que se encuentran en la epidermis de las plantas y que permiten identificarlas) de plátano, originario del sudeste asiático, en sedimentos de América tropical, para la misma época. Otra consecuencia del descubrimiento fue la gran disminución de la población americana, que se calcula que descendió desde unos 50-60 millones de habitantes antes de 1492 hasta más o menos 6 millones en 1650, debido a las guerras, el esclavismo, el hambre y la introducción de enfermedades procedentes de Europa, desconocidas en América hasta el momento.

Según los británicos Simon Lewis (ecólogo) y Mark Maslin (climatólogo), este declive de la población tuvo consecuencias para el metabolismo atmosférico global, ya que la agricultura y el fuego disminuyeron notablemente, lo que permitió la regeneración de más de 50 millones de hectáreas de bosques y sabanas, aumentando así la tasa de fotosíntesis y

disminuyendo la concentración de CO2 atmosférico. La concentración de este gas en la atmósfera se redujo, así, en 7-10 ppm (partes por millón) entre 1570 y 1620, lo que representa el cambio histórico más significativo, tanto en magnitud como en tasa de cambio, en este parámetro antes de la industrialización (figura 5). Lewis y Maslin llaman a este fenómeno el "Evento Orbis".

Figura 5

Cambios en la concentración de CO2 atmosférico durante el último milenio, registrados en los mantos de hielo antárticos.



Fuente: Basado en Lewis y Maslin (2015).

La Revolución industrial y la Gran Aceleración

El siguiente evento de alcance mundial fue la Revolución industrial, cuyos inicios se sitúan en Gran Bretaña hacia 1760 y que comportó un aumento en el CO_2 atmosférico sin parangón alguno en la historia de la humanidad (figura 5). La industrialización supuso el fin de la agricultura como actividad humana dominante y cambió profunda e irreversiblemente (por ahora) el modo de vida de los humanos, generando un nuevo orden económico mundial. Hasta ese momento, las principales fuentes de energía provenían del movimiento del aire y el agua, así como del uso de animales y plantas para carga, tracción, alimento, leña, etc. De un modo u otro, estos tipos de energía derivan de la energía solar, que controla tanto la circulación atmosférica como el ciclo hidrológico y proporciona la energía fundamental para la fotosíntesis, que es el origen de todo el metabolismo biológico. La baja eficiencia de esta energía (las plantas usan aproximadamente el 1% de la energía solar y los animales aprovechan solo un 10% de la energía de las plantas que consumen) limitaba el crecimiento de las poblaciones humanas. Pero el descubrimiento de los combustibles fósiles (sobre todo carbón y petróleo) cambió radicalmente la situación. En realidad, los combustibles fósiles también fueron la consecuencia, en su momento, del funcionamiento de la biosfera, ya que tanto el carbón como el petróleo son acumulaciones de materia orgánica que una vez estuvo viva y, por lo tanto, dependía de la energía solar.

La extracción de hidrocarburos del subsuelo se puede ver como la recuperación de la energía solar de tiempos pretéritos. Al descender con nuestros equipos de perforación por las rocas formadas durante millones de años de sedimentación y consolidación lo que hacemos, en realidad, es entrar en el túnel del tiempo para llevar al presente el sol del pasado. Gracias a la extracción de combustibles fósiles, la población

humana global creció de uno a seis billones de habitantes entre 1800 y 2000, mientras que la energía se multiplicó por 40 y la producción económica por 50. El CO2 es uno de los principales productos de la combustión de los hidrocarburos fósiles y es liberado directamente a la atmósfera, siendo este el proceso responsable del espectacular aumento registrado desde mediados del siglo XVIII (figura 5).

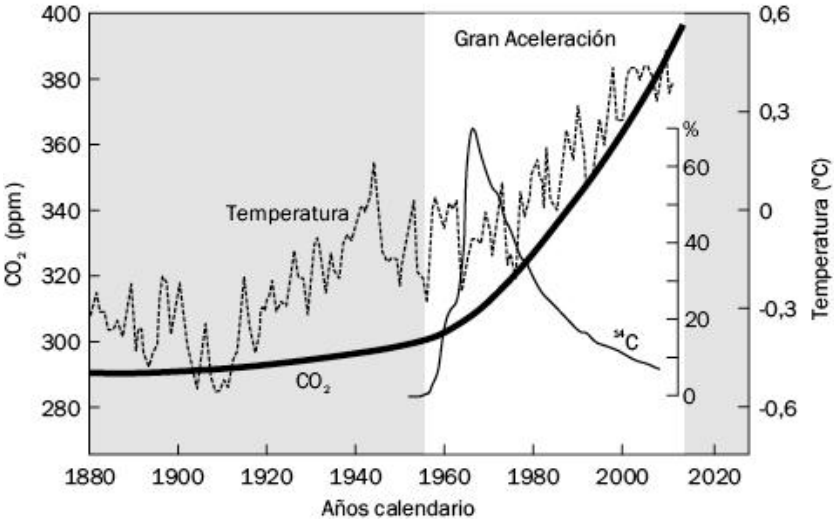
Dentro del periodo industrial, el cambio más drástico tuvo lugar después de la Segunda Guerra Mundial, en la década de los cincuenta, con la denominada Gran Aceleración. A partir de esas fechas, todos los indicadores de actividad humana experimentaron una aceleración en su crecimiento y surgieron muchas otras actividades nuevas, como por ejemplo las comunicaciones electrónicas. También se multiplicó la producción de plástico y aparecieron otros productos sintéticos que son contaminantes persistentes del agua, la atmósfera o el suelo. La población mundial pasó de 3.000 a 6.000 millones en solo 50 años y la producción económica se multiplicó por 15 durante el mismo periodo. La distribución de la población también sufrió cambios importantes, ya que la Gran Aceleración trajo consigo un abandono masivo del campo y las actividades agropecuarias para vivir en las ciudades, donde se desarrollaba toda la actividad industrial y los servicios asociados. Hoy en día, casi la mitad de la población humana vive en ciudades, en busca de mayor prosperidad económica, lo que repercute en un aumento notable del consumo, otro indicador importante de la aceleración. El número de vehículos de motor pasó de 40 millones, al final de la gran guerra, a 700 millones en 1996. El consumo de petróleo creció 3,5 veces desde 1960, lo que causó un aumento, también dramático, del CO2 atmosférico y, como consecuencia del efecto invernadero producido por este gas, un ascenso de la temperatura global del planeta, que es lo que conocemos como calentamiento global (figura 6). La concentración de otros gases de efecto invernadero (metano, fluorocarbonos, etc.) aumentó de forma similar, contribuyendo también al calentamiento.

Entre las consecuencias ecológicas, además de la ya comentada conversión de más de la mitad de la superficie terrestre en

paisajes humanizados, debemos mencionar la disminución de la biodiversidad natural, que ha llevado a muchos a comparar la situación con las grandes extinciones en masa ocurridas en tiempos geológicos, calificando la situación actual de sexta extinción, después de la quinta, que fue la de los dinosaurios, ocurrida hace 66 millones de años. El aumento de la radiactividad durante la Gran Aceleración merece una mención especial. La primera detonación atómica tuvo lugar en 1945, durante la Segunda Guerra Mundial, a la que siguieron diversas pruebas nucleares que culminaron a finales de los años cincuenta y principios de los sesenta. En 1963 se firmó el primer tratado de reducción de las pruebas atómicas (válido para la atmósfera, el agua y el espacio ultraterrestre) y estas disminuyeron considerablemente, aunque no se eliminaron totalmente, ya que el tratado de prohibición completa no se firmaría hasta 1996.

Figura 6

Variaciones en la concentración de CO2 y temperatura global de la Tierra durante el último siglo. El CO2 se estima a partir de los registros de hielo polares hasta 1958, fecha en que empezaron las medidas instrumentales de este parámetro. La temperatura se indica como anomalía con respecto al promedio del periodo 1961-1990 (que sería el cero). También se indica el incremento de ^{14}C atmosférico, en porcentaje con respecto al valor base correspondiente a 1950.



Fuente: Basado en Lewis y Maslin (2015).

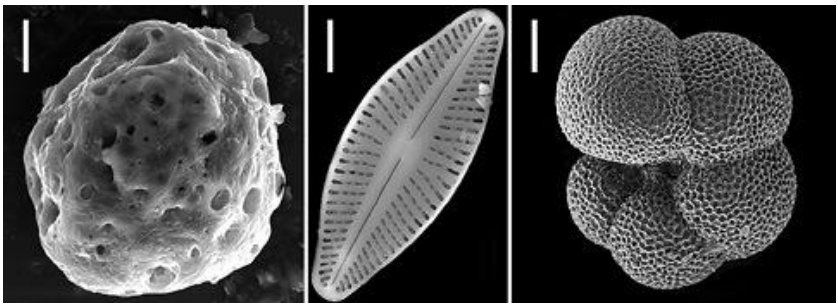
Las evidencias geológicas de la industrialización y la posterior aceleración son muchas y muy variadas y están presentes no solo en los mantos de hielo y en los sedimentos lacustres y marinos, sino también en otras estructuras físicas, como por ejemplo los anillos de crecimiento de los árboles. A pesar de no tratarse de una roca, estos anillos se consideran un archivo paleoclimático y paleoambiental igualmente útil y potente. Por una parte, el grosor y otras características de tales anillos obedecen a parámetros como la temperatura o la precipitación, por lo que nos sirven para hacer inferencias e incluso estimaciones cuantitativas de parámetros climáticos del pasado. Por otra parte, los elementos químicos que contienen son el reflejo de la composición de la atmósfera de la época en que se formaron y nos pueden informar sobre la misma. Por ejemplo, la cantidad de carbono radiactivo o carbono-14 (^{14}C) de cada anillo nos permite estimar indirectamente la radiactividad ambiental y, de esta manera, seguir sus variaciones. La figura 6 muestra una curva de ^{14}C que crece súbitamente a partir de 1950, tiene un pico en 1963 y después cae en picado. Esto no es más que la concentración de este

isótopo radiactivo en los anillos de los árboles, que sigue fielmente la historia ya comentada de las explosiones nucleares desde la Segunda Guerra Mundial. Otros isótopos radiactivos, también llamados radioisótopos, que siguen tendencias parecidas y se usan como indicadores de actividades nucleares son el plutonio ($^{239}+{}^{240}$Pu), el plomo (^{210}Pb), el cesio (^{137}Cs) o el Yodo (^{129}I). Dichos elementos, al igual que el ^{14}C, se encuentran tanto en los hielos polares como en anillos de crecimiento de los árboles o en depósitos sedimentarios (lagos, turberas, océanos, etc.).

Prácticamente todos los fenómenos mencionados anteriormente, asociados a la industrialización y a la Gran Aceleración, dejan huella en el registro geológico. Por ejemplo, la combustión de hidrocarburos crea unas microesferas llamadas cenizas volantes (fly ashes, en inglés) que se liberan a la atmósfera y, con el tiempo, van depositándose en el fondo de lagos y mares, documentando así el inicio de la Revolución industrial (figura 7). Otro proceso típico de la actividad humana es la fertilización de los lagos, que acaba por eutrofizarlos, lo cual queda registrado en el sedimento a través de cambios importantes en los restos de organismos acuáticos como, por ejemplo, las diatomeas (o los foraminíferos, en el caso del mar). La progresiva acidificación de lagos y océanos bajo influencia humana también queda registrada en estos y otros organismos. Por otra parte, el gran desarrollo actual de los métodos de análisis físicoquímicos de sedimentos permite analizar prácticamente cualquier contaminante presente en los mismos. Un caso especial es el plástico, inexistente antes de la industrialización, que ya está tan extendido en los sedimentos de todo el mundo, especialmente en el medio marino, que se puede usar para caracterizar el inicio de su producción a escala mundial. También hay que mencionar el gran aumento de nitrógeno en los sedimentos postindustriales, en parte debido al incremento del uso de fertilizantes y también al desarrollo del método de Haber-Bosch para la producción industrial de amonio a partir del nitrógeno atmosférico.

Figura 7

Ejemplos de cenizas volantes (izquierda), diatomeas (centro) y foraminíferos (derecha). Las barras verticales representan 10 micras (milésimas de milímetro) para la ceniza y la diatomea, y 100 micras para el foraminífero.



Nuevas rocas sedimentarias

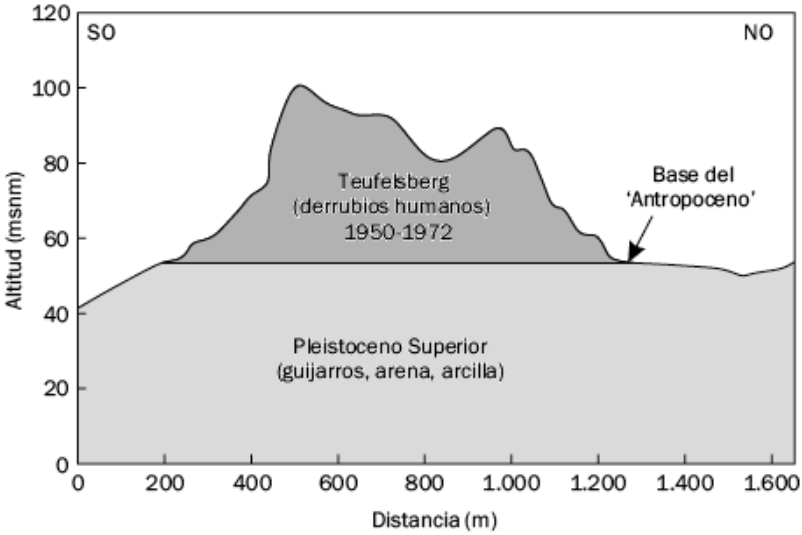
Las actividades humanas no solo han afectado a la composición de las rocas en formación, sino que han modificado su estructura e incluso han contribuido a la formación de rocas nuevas. Buenos ejemplos son los sedimentos de los embalses, creados por el represamiento de ríos, o los terrenos que se ganan al mar mediante la construcción de diques. El caso más conocido es el de Holanda, donde los nombres de muchas de sus ciudades terminan en "-dam", que significa "presa". Gran parte de ese país (casi el 20%) está sobre terrenos ganados al mar de esta manera. Según un dicho popular holandés, "Dios hizo el mundo, pero Holanda la hicieron los holandeses". También se han creado nuevos ambientes sedimentarios, como las ciudades y otros similares, donde se van acumulando sedimentos de origen antropogénico en estratos que representan distintas civilizaciones. La eliminación de cuencas de sedimentación también es frecuente, principalmente mediante la desecación de lagos y lagunas costeras para construir asentamientos o campos de cultivo.

El caso del mar de Aral es uno de los más espectaculares. Este lago, situado en Uzbekistán y otras repúblicas adyacentes, ocupaba casi 70.000 km^2, pero, en 1960, los ríos que lo alimentaban empezaron a ser desviados para dedicar sus aguas a la irrigación agrícola. Actualmente, el antiguo lago está prácticamente seco y la zona se conoce como el desierto Aralkum. Otro caso bien conocido es el efecto de la pesca de arrastre (que, según la oceanógrafa Sylvia Earle, sería como destruir los campos con excavadoras para cazar ardillas), que han destruido aproximadamente 20 millones de km^2 de sedimentos costeros. La minería y otras actividades de extracción también modifican notablemente los sedimentos depositados, en este caso, durante millones de años. Waters et

al. (2014) ofrecen una descripción y clasificación detallada de todas las características sedimentarias y estratigráficas asociadas a las modificaciones humanas de la biosfera. Especial mención merece la tecnosfera, cuyo grado de preservación en el registro geológico todavía no podemos predecir pero, sin duda, será un componente fundamental para los futuros geólogos y, por supuesto, para la caracterización del 'Antropoceno' como unidad geológica, si se llega a formalizar. Un ejemplo muy ilustrativo del probable destino geológico de la tecnosfera lo encontramos en Berlín, donde los escombros de la ciudad producidos por la Segunda Guerra Mundial fueron acarreados y acumulados en las afueras de la ciudad formando montículos. Algunos de estos montículos todavía existen y el mayor, Teufelsberg (literalmente, montaña del Diablo), forma una colina de 80 m de altura y 1 km^2 de extensión, calculándose que contiene unos 26 millones de m^3 de desechos convenientemente compactados, como testigo sedimentario de la tecnosfera (figura 8).

Figura 8

Esquema de la colina de Teufelsberg, formada por los escombros de la Segunda Guerra Mundial acumulados en las afueras de Berlín, como formación geológica representativa del 'Antropoceno'.



Fuente: Basado en Zalasiewicz et al. (2016).

¿Cuándo empieza el ‘Antropoceno’?

De todo lo que hemos visto en este capítulo, podemos concluir que disponemos de evidencias geológicas para cualquiera de las etapas que hemos mencionado en que las actividades humanas han afectado el Sistema Tierra de forma global. Así pues, en teoría, deberíamos poder definir el ‘Antropoceno’ como una nueva época según criterios geológicos objetivos. El problema surge, como siempre pasa en estos casos, cuando hay más de una posibilidad, porque enseguida salen defensores de cada una de las opciones y es difícil ponerse de acuerdo. La pregunta del millón es: ¿cuándo empieza el ‘Antropoceno’? ¿Con la extinción de la megafauna pleistocena? ¿Con la deforestación y el cultivo de arroz del Holoceno? ¿Con la conquista de América en el siglo XV? ¿Con la industrialización en el siglo XVIII? ¿Con la Gran Aceleración en el siglo XX? Según sea la respuesta, le época definida será muy distinta.

La formulación original de Crutzen y Stoermer, en el año 2000, propone que el evento clave es el principio de la industrialización, aunque no cierran la puerta a otras posibilidades ni descartan la opción de incluir todo el Holoceno. Pero esta respuesta no depende solo de la contundencia y el éxito de las argumentaciones sobre una u otra posibilidad, como muchos piensan. Estamos hablando de una nueva unidad geológica y, como vimos en la introducción, hay una serie de criterios muy claros y bien establecidos que hay que cumplir. Por lo tanto, antes de seguir con las disquisiciones de cuál es la mejor opción, debemos conocer bien las leyes que ha desarrollado la geología para estos casos, que es lo que trataremos en el próximo capítulo.

Capítulo 3

El tiempo geológico, sus unidades y sus leyes

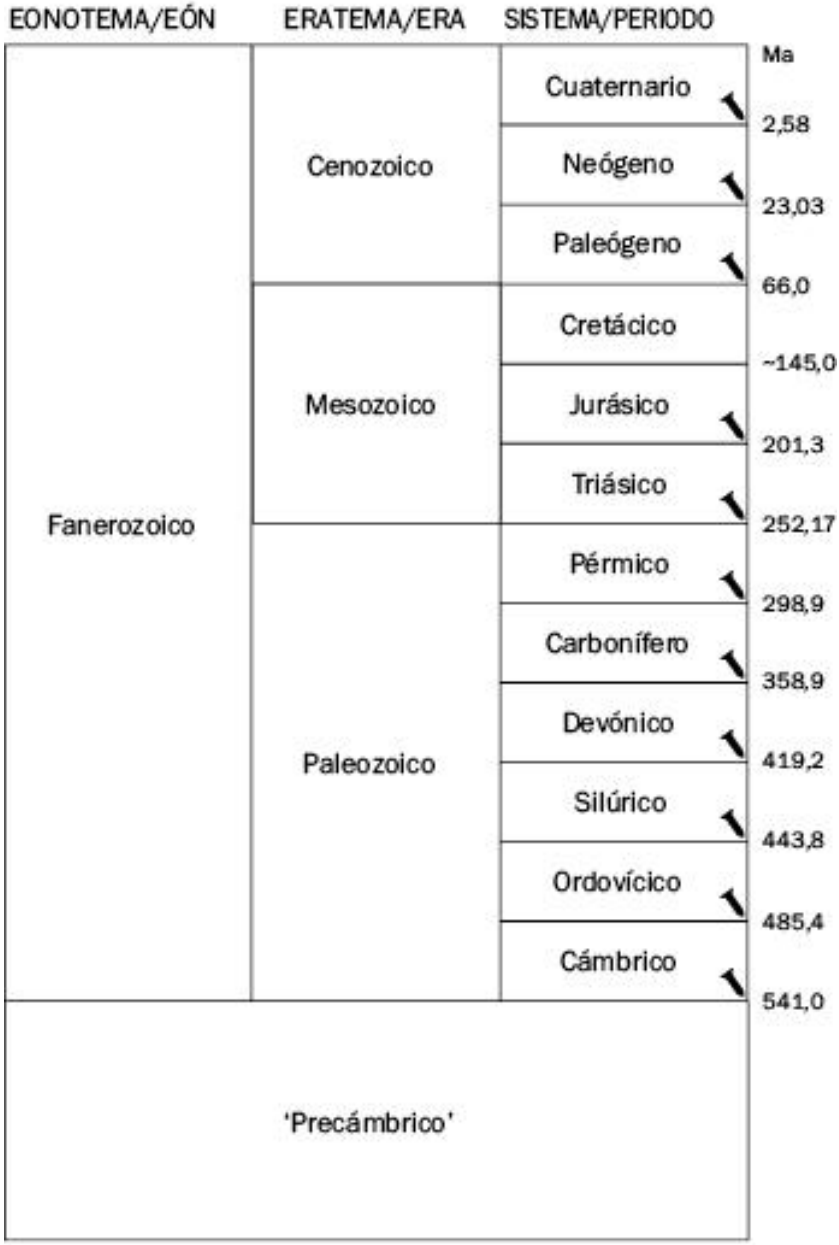
Ya lo hemos dicho antes pero insistiremos en ello por ser el origen de todo el embrollo. El término 'Antropoceno' fue propuesto como un nuevo término geológico oficial, es decir, se trata de una propuesta formal de añadir una unidad nueva a la tabla cronoestratigráfica internacional. Por lo tanto, hay que seguir las normas correspondientes. Si el propósito hubiera sido introducir un nuevo término para definir una nueva etapa histórica de la humanidad, sin ninguna connotación geológica, todo lo que sigue sería innecesario y no habría que solicitar la aprobación de nadie; bastaría con usar el término, sin más. Un caso similar sería el hecho de denunciar o no un agravio ante la justicia. Si se hace, hay que estar dispuesto a seguir lo que dice la ley. Si, por el contrario, el agraviado decidiera permanecer al margen de la ley y pensara tomarse la justicia por su mano, lo peor que podría hacer sería poner la denuncia.

Como ya hemos avanzado, las unidades del tiempo geológico se encuentran en la tabla cronoestratigráfica internacional (TCI) (figura 9) y se regulan mediante la Guía Estratigráfica Internacional, bajo la tutela de la Comisión Internacional de Estratigrafía (CIE), que depende de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (UICG), una de las mayores organizaciones científicas existentes en la actualidad, cuya misión es promover el estudio de la geología, especialmente de aquellos aspectos de alcance global, así como facilitar la cooperación internacional e interdisciplinar en la ciencias de la Tierra[2].

Figura 9

Síntesis de la TCI vigente. A la derecha se especifica la edad de los

límites en millones de años (Ma). Los clavos en la base de cada sistema/periodo indican aquellos límites que poseen GSSP o golden spike. La base del Cretácico se encuentra actualmente en discusión. Las subdivisiones del 'Precámbrico' no se indican, ya que, de momento, se basan en GSSA, al no disponer de GSSP aceptados (con la excepción del sistema/periodo Ediacárico, cuya base está en 635 Ma).


EONOTEMA/EÓN
ERATEMA/ERA
SISTEMA/PERIODO
Ma
Fanerozoico
Cenozoico
Mesozoico
Paleozoico
Cuaternario
2,58
Neógeno
23,03
Paleógeno
66,0
Cretácico
~145,0
Jurásico
201,3
Triásico
252,17
Pérmico
298,9
Carbonífero
358,9
Devónico
419,2
Silúrico
443,8
Ordovícico
485,4
Cámbrico
541,0
'Precámbrico'

Las unidades estratigráficas

Las unidades de la TCI se denominan cronoestratigráficas y son de naturaleza dual, con una dimensión física (tangible) y otra inmaterial (intangible). La dimensión física viene determinada por la roca en sí, mientras que la dimensión inmaterial es el intervalo de tiempo transcurrido durante la formación de esa roca. Por ejemplo, al decir Holoceno podemos referimos tanto a los cuerpos de roca formados durante los últimos 11.700 años como a ese intervalo de tiempo en particular. Si solo nos referimos al tiempo, estamos hablando del Holoceno como unidad geocronológica. Las evidencias que usa la geología para medir el tiempo son las rocas. Si no hay roca, el tiempo no se puede medir, lo cual no significa que el tiempo no transcurra, simplemente que no se puede registrar por métodos geológicos. Sería como un reloj de arena vacío, sin arena, por el que el tiempo pasa pero él no lo mide.

En el ejemplo anterior, sin conocer las rocas holocenas no podríamos saber que lo que ha pasado durante los últimos 11.700 años merece ser diferenciado geológicamente de lo anterior (el Pleistoceno) y, por lo tanto, no podríamos definir una unidad cronoestratigráfica para el Holoceno. Es decir, no se puede definir una unidad cronoestratigráfica a partir de una unidad geocronológica, sin rocas que la representen. Para incorporar una nueva unidad cronoestratigráfica a la TCI, primero hay que identificar y caracterizar las rocas que la definen y después averiguar el intervalo de tiempo que representan. Para todo lo que sigue es fundamental tener claros los conceptos de cronoestratigrafía y geocronología. Si confundimos estos términos o los tomamos a la ligera, como ocurre a veces, podemos llegar a conclusiones erróneas y propuestas inconsistentes.

Antes de seguir, hay que precisar que en los capítulos

anteriores hemos hablado solamente de unidades geocronológicas, cuyas categorías, por sí mismas, implican tiempo (era, periodo, época). Cada una de ellas tiene su equivalente cronoestratigráfico (eratema, sistema y serie, respectivamente). Hay más, pero con estas bastará para entender el problema del 'Antropoceno'. Por ejemplo, el Holoceno, como unidad geocronológica, es una época y como unidad cronoestratigráfica, una serie. El Cuaternario es un periodo y un sistema, mientras que el Cenozoico es una era y un eratema (figura 9).

Las unidades cronoestratigráficas de la TCI son de naturaleza global, aunque su expresión concreta en cada una de las localidades donde se encuentran las correspondientes rocas representativas puede variar. Cada unidad cronoestratigráfica está definida y caracterizada por una sección tipo o estratotipo, definido en una localidad particular o localidad tipo, pero debe ser el reflejo de un fenómeno global. Por ejemplo, la unidad que representa el Pleistoceno debe poder encontrarse en cualquier parte del mundo, aunque sus características litológicas, es decir, su aspecto y composición, sean diferentes. Y, en efecto, así es, puesto que la sección tipo del Pleistoceno se encuentra en Sicilia, pero podemos encontrar rocas de la misma edad y que corresponden al mismo fenómeno (los ciclos glaciares recientes) en cualquier continente, incluso en el fondo de los océanos. Esto nos lleva a una segunda consideración, que es la sincronía. En definitiva, las unidades cronoestratigráficas deben ser la consecuencia de fenómenos globales y sincrónicos. De lo contrario, la TCI tampoco tendría sentido, ya que no sería un estándar internacional, que es su principal razón de ser.

En geología, la constatación de que dos o más rocas de localidades distintas sin continuidad física evidente tienen la misma edad, es decir, se formaron durante el mismo intervalo de tiempo y, por lo tanto, corresponden a la misma unidad geocronológica, se denomina "correlación cronológica" y necesita la datación (o cálculo de la edad) de las rocas involucradas. No entraremos en detalles sobre los métodos de datación, baste decir aquí que son de dos tipos: absolutos y

relativos. Los primeros son principalmente métodos radiométricos, basados en la desintegración de elementos radiactivos cuya velocidad de desintegración, expresada por su vida media, es conocida, lo que permite calcular la edad en que se formaron las rocas que los contienen a partir de la cantidad de esos elementos presentes en las mismas. El más conocido de estos métodos es el del ^{14}C, que permite datar rocas de hasta 50.000 años, más o menos, pero hay otros como, por ejemplo, el del potasio-argón (K/Ar) o el del uranio-torio (U/Th), cuyas vidas medias son mucho mayores y permiten la datación de rocas mucho más antiguas. Los métodos de datación relativos se basan en la coincidencia de eventos iguales reconocibles en rocas de distintas localidades, que permiten asegurar que esas rocas son de la misma edad. Uno de los más usados aprovecha la sincronía de fenómenos globales como la extinción de floras y/o faunas, siendo el ejemplo más clásico la extinción de los dinosaurios que representa el final del periodo Cretácico (y de la era del Mesozoico) y el principio del periodo Paleógeno, el primero de la era del Cenozoico (figuras 1 y 9).

Volviendo a las pruebas necesarias para definir nuevas unidades estratigráficas, vimos que los primeros pasos son identificar la sección tipo en su localidad tipo y datarla. En el caso de unidades anteriores al Holoceno, que tuvieron un principio y un final, podemos conocer la duración de las mismas. Por ejemplo, sabemos que el Pleistoceno empezó hace 2,58 millones de años y terminó hace 11.700 años, cuando comenzó el Holoceno, una época especial, ya que no sabemos cuándo terminará y está definida únicamente por su inicio. Lo mismo que ocurriría con el 'Antropoceno', si finalmente fuera formalizado, lo cual acotaría el final del Holoceno. En realidad, conocer la fecha de inicio de cada unidad es suficiente, puesto que su final viene determinado por el principio de la siguiente, como en el caso del Pleistoceno.

Así pues, para definir una unidad cronoestratigráfica nueva, una vez se cumplen las condiciones necesarias, hay que datar su base, es decir, su inicio. Este punto, la base o inicio de la unidad, se conoce internacionalmente como GSSP, del inglés

Global Boundary Stratotype Section and Point (Sección Estratotipo y Punto de Límite Global o también Estratotipo Global de Límite), y es imprescindible para caracterizar una unidad cronoestratigráfica. El GSSP de una unidad estratigráfica concreta se materializa en el terreno por su golden spike (clavo dorado) que incluye una estaca metálica clavada en la correspondiente "línea de tiempo" en la roca, una placa o incluso auténticos monumentos conmemorativos.

Como es lógico, un GSSP, para ser válido, también debe ser sincrónico globalmente, lo cual, en estratigrafía, se conoce como un límite isócrono. Si un mismo fenómeno —por ejemplo, la extinción de los dinosaurios— hubiera ocurrido en tiempos distintos en diferentes partes del planeta, daría lugar a límites no sincrónicos (heterócronos) que no se podrían utilizar para definir un GSSP. Un caso particular de heterocronía son los límites diacrónicos, definidos por un fenómeno que ocurre de forma más o menos progresiva en diferentes lugares. Otro punto importante es que un GSSP debe ser perfectamente reconocible, es decir, debe representar un cambio nítido en las características de las unidades que delimita. En otras palabras, la unidad estratigráfica que define el GSSP debe poseer características diferenciales evidentes con respecto a la unidad inferior. Estas diferencias, que pueden ser físicas, químicas o biológicas, constituyen los "marcadores estratigráficos". En el ejemplo de los dinosaurios, el marcador estratigráfico del GSSP de la actual era cenozoica sería la desaparición de fósiles de dinosaurios y su sustitución por fósiles de mamíferos. En rocas marinas, el mismo límite se correspondería con la extinción de grupos notables de moluscos como los ammonites y los inocerámidos, así como cambios importantes en las asociaciones de foraminíferos. La gran mayoría de los GSSP de la TCI se han definido con base en fósiles de animales que reflejan apariciones y extinciones, así como cambios faunísticos drásticos, de alcance global. En las rocas precámbricas, formadas antes de la aparición de la vida sobre la Tierra, no es posible reconocer límites de ese tipo, por lo que los límites entre eventuales unidades estratigráficas no se pueden establecer por ahora mediante GSSP. En estos casos, se usan provisionalmente unidades geocronológicas, definidas

a través de límites cronológicos o GSSA (Global Standard Stratigraphic Age o Edad Estratigráfica Estándar Global). Sin embargo, estos límites, al carecer de GSSP, no corresponden a unidades cronoestratigráficas válidas, ya que no han superado el proceso de formalización (véase apartado siguiente). El mismo 'Precámbrico' (figura 9) es una unidad informal que solo indica "lo anterior al Cámbrico".

En el caso de que la unidad a caracterizar se encuentre en el subsuelo y no aflore a la superficie, como por ejemplo en unidades subsuperficiales halladas en explotaciones mineras o pozos petrolíferos, se usan los mismos principios, especificando el nombre de la mina o pozo, el nombre del testigo de sondeo (el cilindro de roca procedente de la perforación) y el repositorio donde se guardan estas evidencias. En estos casos, muchas veces no es posible situar físicamente un golden spike, pero el GSSP debe existir siempre. Esto ocurre, por ejemplo, en el caso del Holoceno, cuyo GSSP se encuentra a 1.492 m y 45 cm de profundidad, en el manto de hielo de Groenlandia, en un testigo de la perforación llamada NGRIP2.

Formalización de las unidades cronoestratigráficas

Una vez se tiene toda la información necesaria para definir y caracterizar una unidad cronoestratigráfica con su correspondiente GSSP, se somete la propuesta a la CIE, que la analiza y la aprueba, o no. Veamos cómo es este proceso, para lo cual, primero, necesitamos conocer la estructura y composición de este organismo. La función de CIE es definir con precisión las unidades cronoestratigráficas globales de la TCI (sistemas, series y pisos) que, a su vez, son la base para las unidades geocronológicas (periodos, épocas y edades), que son los estándares globales para expresar la historia de la Tierra. Sus funciones específicas son las siguientes:

Establecimiento y publicación de la TCI.

Compilación y mantenimiento de una base de datos estratigráfica global.

Unificación de la nomenclatura estratigráfica global.

Promoción y educación de los métodos y el conocimiento estratigráficos.

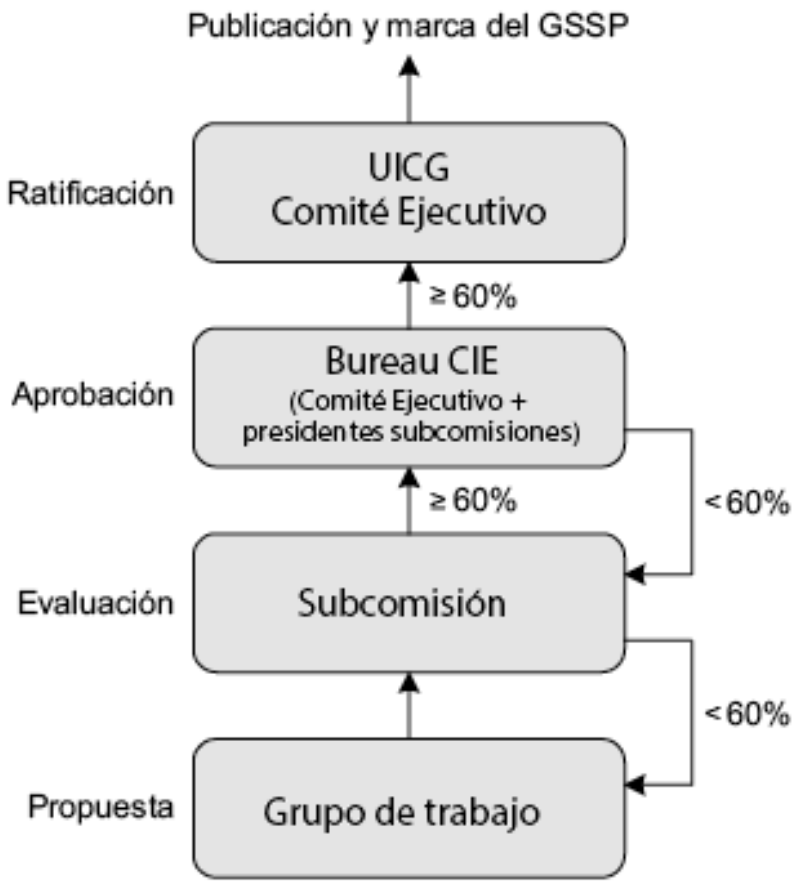
Evaluación de métodos estratigráficos nuevos y su integración en la estratigrafía multidisciplinar.

Definición de los principios de clasificación y terminología estratigráfica, y publicación de los mismos.

La CIE está dirigida por el comité ejecutivo, formado por el presidente, el vicepresidente, el secretario general y el presidente anterior, y se organiza en subcomisiones temáticas. Las subcomisiones son entes de larga duración (semipermanentes) y se ocupan de la estandarización de unidades estratigráficas concretas. En la actualidad, existen 16 subcomisiones dedicadas a una unidad específica, más otra general, que son las siguientes: Cuaternario, Neógeno, Paleógeno, Cretácico, Jurásico, Triásico, Pérmico, Carbonífero, Devónico, Silúrico, Ordovícico, Cámbrico, Ediacárico, Criogénico, 'Precámbrico' y Clasificación Estratigráfica. Cada subcomisión puede organizar, a su vez, grupos de trabajo de menor duración (normalmente de cuatro años) para estudiar problemas específicos a resolver, generalmente de límites estratigráficos concretos y sus correspondientes GSSP. Estos grupos de trabajo son los que analizan a fondo todo lo relacionado con la unidad que se quiere añadir o modificar y hacen la propuesta a la subcomisión correspondiente. Por ejemplo, una propuesta sobre el GSSP del Pleistoceno debería ser tramitada ante la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario. Aquí empieza el proceso de aprobación y ratificación (figura 10). La subcomisión evalúa la propuesta y decide si la eleva a instancias superiores para su aprobación. Esta decisión debe tomarse por amplia mayoría, es decir, con el voto favorable de no menos del 60% de los miembros de la subcomisión correspondiente. Una propuesta que reciba menos votos vuelve al grupo de trabajo respectivo para su reformulación o, directamente, se desestima. Si se alcanza el límite del 60% de votos favorables, la propuesta se traslada al Bureau de la CIE, formado por el comité ejecutivo y los presidentes de todas las subcomisiones, es decir, unos 20 miembros. De nuevo, se requiere un apoyo mínimo del 60% para la aprobación. Si la propuesta es aprobada por el Bureau, pasa al comité ejecutivo de la UICG, quien ratifica o no la aprobación. Solo después de esta ratificación, la nueva unidad es válida y puede incluirse en la TCI, ser publicada en revistas especializadas y su GSSP marcado en el campo con el correspondiente golden spike.

Figura 10

Procedimiento para la aprobación y ratificación de una nueva unidad estratigráfica.



Situación actual del ‘Antropoceno’

¿En qué situación se encuentra el ‘Antropoceno’ dentro de todo este proceso? Todavía en sus primeros pasos. Veamos por qué. En nuestro contexto, la subcomisión de la CIE que nos interesa es la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (figuras 1 y 9). Esta subcomisión posee los siguientes cuatro grupos de trabajo dedicados a tareas muy específicas: Antropoceno, Subdivisión del Holoceno, Límite Pleistoceno Medio/Tardío, y Límite Pleistoceno Temprano/Medio.

En la actualidad, el Grupo de Trabajo del Antropoceno (GTA) consta de 37 miembros, incluyendo a Paul Crutzen, y coordinado por Jan Zalasiewicz, uno de los defensores más activos de la formalización del ‘Antropoceno’ como una nueva época y, a la vez, secretario de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario. El GTA se estableció en 2009 y sus cuatro años de estudio hubieran terminado en 2013, aunque se extendió hasta 2016, dada la dificultad de localizar, definir y caracterizar un estratotipo para el ‘Antropoceno’ y de precisar un GSSP válido, es decir, global y sincrónico.

La principal complicación fue la variedad de posibilidades que existen para definir el ‘Antropoceno’ y su inicio. Desde la primera propuesta de Crutzen y Stoermer, quienes argumentaban que esta “época” habría empezado con la Revolución industrial, han surgido otras opiniones, como la de Ruddiman, que se ha denominado la del “Antropoceno temprano”, entre muchas otras. La tabla 1 resume las distintas posibilidades propuestas hasta ahora, cuya evidencia factual hemos discutido en el capítulo anterior. No nos detendremos en evaluar en profundidad cada una de ellas, lo que ha sido objeto de análisis en numerosas publicaciones, sobre todo de los miembros del GTA, las más importantes de las cuales se encuentran en la bibliografía. Lo que nos interesa aquí es

conocer el actual estado de cosas, de cara al proceso que debería seguir el 'Antropoceno' para convertirse oficialmente en una nueva serie/época. Aquí es necesario insistir en los requerimientos de globalidad y sincronía, de manera que aquellos eventos o procesos que no son ni una cosa ni la otra también son los que menos posibilidades tienen de ser escogidos. A la vista de lo expuesto en la tabla 1, las hipótesis con menos posibilidades serían las de la extinción de la megafauna, el origen de la agricultura, el aumento en la producción de arroz y los suelos antropogénicos, mientras que las hipótesis de la Revolución neolítica y la Revolución industrial ocuparían una posición intermedia y las más potentes parecerían ser la de la producción de arroz, la del choque de las culturas europea y americana y la de la detonación de armas nucleares.

Tabla 1

Posibles definiciones del 'Antropoceno' propuestas hasta el momento, ordenadas cronológicamente.

EVENTO CLAVE	INICIO	MARCADOR ESTRATIGRÁFICO PRINCIPAL	OTROS MARCADORES	IMPACTO GLOBAL	SINCRÓNICO
Compuestos químicos industriales	~1950	Hexafluoruros (SF_6) en hielo glaciar	Cemento, plástico, plomo	Sí	Incierto
Detonación de armas nucleares	1945	Radioisótopos, sobre todo ^{14}C, en anillos de crecimiento de árboles, en 1964	Plutonio, cemento, plástico, plomo	Sí	Sí
Revolución industrial	1760	Cenizas volantes en sedimentos lacustres y marinos	Aumento de nitrógeno y cambios en las diatomeas lacustres	Sí	No
Descubrimiento de América	1492	Mínimo de CO_2 en el hielo glaciar, en 1610?	Polen y otros fósiles en sedimentos lacustres	Sí	Sí
Suelos antropogénicos	3.000-5.000 AP	Suelos oscuros, ricos en materia orgánica	Polen de plantas cultivadas	No	No
Producción de arroz	6.500 AP	Inflexión de CH_4 en hielo glaciar (~5.000 AP)?	Hachas de piedra, fósiles de rumiantes domésticos	No	No
Agricultura/ ganadería extensiva	~8.000 AP	Inflexión de CO_2 en hielo glaciar (7.000-8.000 AP)?	Polen de plantas cultivadas en sedimentos, carbón, cerámica	Sí	No
Origen de la agricultura	~11.000	Polen de plantas cultivadas	Fitolitos, carbón	No	No
Extinción de la megafauna	50.000-10.000 AP	Megafauna fósil	Carbón en sedimentos	Sí	No

Fuente: Basado en Lewis y Maslin (2015).

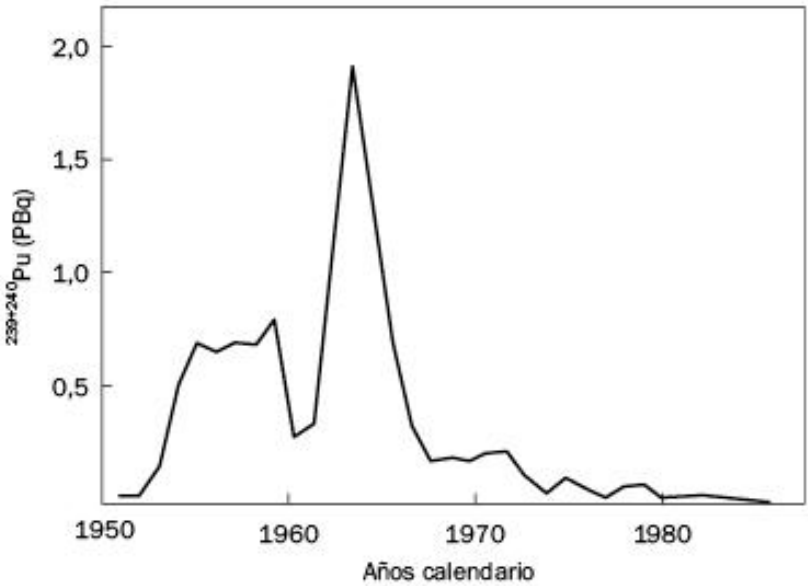
Todas estas hipótesis fueron intensamente debatidas por el GTA hasta que, en agosto de 2106, tuvo lugar la votación para seleccionar la propuesta que se llevaría a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (figura 9). Sin embargo, el GTA todavía no puede presentar la propuesta, ya que solo acordaron fijar la fecha de inicio del 'Antropoceno', lo cual, como hemos visto, es un GSSA y, como tal, insuficiente para

definir una unidad estratigráfica válida que requiere, además, de un estratotipo con el correspondiente GSSP[3].

Resumiendo, el GTA propondrá a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario que el 'Antropoceno' sea una unidad estratigráfica real que debería ser formalizada como una época, iniciada alrededor de 1950, cuyo principal marcador estratigráfico (la característica que diferenciaría las rocas del 'Antropoceno' de las del Holoceno) sería el aumento de plutonio como consecuencia de las pruebas de armas nucleares iniciadas en los años 1945 (figura 11). Esto lleva implícito que el Holoceno habría terminado, pero seguiríamos en el periodo Cuaternario de la era del Cenozoico. Si bien el plutonio sería el marcador principal, no sería el único, ya que la fecha propuesta coincide con la Gran Aceleración, cuyas consecuencias, incluido el cambio climático, son consideradas irreversibles por el GTA. Curiosamente, así definido, el 'Antropoceno' coincide con la Edad Atómica (véase capítulo 1).

Figura 11

Actividad de plutonio ($^{239} + ^{240}$Pu) en la atmósfera medida en picobecquerelios (PBq), unidad habitual para medir la radiactividad. Después del primer tratado de reducción de las pruebas nucleares, firmado en 1963, la actividad atmosférica de plutonio se redujo drásticamente.



Fuente: Basado en Monasterski (2015).

Después de esta votación, los miembros del GTA acordaron situar el GSSA del 'Antropoceno' en 1945 y ahora se disponen a buscar un estratotipo y un GSSP, lo cual significa que aún se encuentran a medio camino y, por lo tanto, todavía no pueden hacer la propuesta. Según ellos, los depósitos con mejores posibilidades serían los sedimentos lacustres o marinos, los hielos glaciares o los esqueletos coralinos y los espeleotemas (estalactitas y estalagmitas), que también poseen capas de crecimiento anuales. No mencionan los anillos de crecimiento de los árboles, donde se encuentra el pico de ^{14}C de 1964 comunicado anteriormente por Lewis y Maslin como posible GSSA para el 'Antropoceno' (tabla 1). Aunque no se especifica este punto, es probable que consideraran que los árboles no son rocas y, por lo tanto, no entrarían en el juego.

Sea como fuere, el GTA todavía no ha podido definir el GSSP del 'Antropoceno', algo que espera lograr, según ellos mismos, en los próximos 2-3 años, es decir, 9-10 años después de su fundación. Esto significa que, en 2019 o 2020, este grupo ya

estaría en condiciones de sacar la propuesta de su estado embrionario actual y someterla a la consideración de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario, que es cuando, de verdad, se inicia el proceso. No se puede especificar una duración precisa ni aproximada para lo que vendría después, ya que, como hemos visto, no se trata de un proceso directo ni sencillo, que requiere muchas discusiones por parte de la subcomisión correspondiente, el Bureau de la CIE y la comisión ejecutiva de la UICG. Se da el caso de propuestas que han superados las subcomisiones correspondientes, pero no han llegado a ser aprobadas ni ratificadas posteriormente por la CIE. En este caso se encuentran, por ejemplo, varias propuestas de la Subcomisión del 'Precámbrico', donde, como también hemos visto, muchos límites se basan en GSSA y no en GSSP, lo cual representa un serio inconveniente.

Este retraso —recordemos que un grupo de trabajo de la CIE normalmente dispone de cuatro años para completar su labor — no puede achacarse, ni mucho menos, a la falta de interés o la negligencia del GTA, ni a la resistencia de las instancias superiores, que todavía no han entrado en juego. Muy al contrario, el GTA está formado por científicos muy entusiastas y bien dispuestos, prácticamente todos convencidos de la conveniencia de adoptar el 'Antropoceno' como época oficial. Solo hay que ver la abrumadora mayoría de respuestas positivas a las dos primeras preguntas de la votación anterior. De hecho, se trata del grupo que lleva la iniciativa y que ha inundado la literatura científica y popular con libros y artículos en defensa de su propuesta. El problema es, más bien, la complejidad de la definición de una unidad que todavía está en estudio o, mejor, dicho, iniciándose el mismo. Se podría argumentar que es el mismo caso del Holoceno, pero no es así. El Holoceno ya tiene más de 11.000 años de existencia y los sedimentos que lo definen poseen un espesor y una distribución geográfica que hacen la labor mucho más fácil. El 'Antropoceno', en cambio, hay que ir a buscarlo en los primeros centímetros (muchas veces milímetros) de las rocas que se forman en la actualidad y su límite inferior ni está presente en todas partes, ni consolidado en las localidades donde ya existe, de manera que fácilmente puede desaparecer

en el futuro.

La definición y caracterización del 'Antropoceno' es un reto enorme, ya que, en muchos casos, ni siquiera sabemos si se conservará en registro geológico ni, de hacerlo, por cuánto tiempo. Esto hace que muchos geólogos piensen que no tiene sentido definir una nueva época como el 'Antropoceno' para caracterizar la influencia humana en el Sistema Tierra. No se puede decir que, como algunos insinúan, ninguno de estos críticos esté frenando el proceso de formalización, ya que, vista la anterior votación, es evidente que no forman parte del GTA. Lo que sí podemos afirmar es que, por el momento, el 'Antropoceno' está en buenas manos, las de sus más decididos defensores. Veremos qué pasa si su propuesta llega a cuajar y va progresando en el protocolo para su formalización.

Así pues, la respuesta a ¿cuál es el estado de la propuesta del 'Antropoceno' de cara a su aprobación como unidad formal de la TCI? sería que la propuesta todavía no existe, pero se espera que lo haga en dos o tres años. Por lo tanto, los medios de comunicación que, como veíamos en la introducción, proclaman a los cuatro vientos que ya estábamos en el 'Antropoceno', porque los científicos encargados de formalizarlo ya lo habían decidido, estaban totalmente equivocados y difundieron información falsa. Esto es grave porque gran parte de la sociedad no tiene acceso directo a los detalles del proceso y no dispone de otra fuente de información que la prensa. Incluso muchos científicos ajenos al campo de las ciencias de la Tierra (y otros no tan ajenos) cayeron en la trampa y están convencidos de que el 'Antropoceno' ya es una realidad.

No entraremos en juicios valorativos sobre los principios y los métodos de muchos medios de comunicación, por ser algo de dominio público. Pero también hay una parte de responsabilidad de alguno de los científicos involucrados, que deberían preocuparse más por lo que se difunde por dichos medios y no tanto por su promoción personal. Por una parte, hay que exigir la revisión de las noticias antes de que sean publicadas, de lo contrario, lo que llega a la sociedad puede

confundir más que aclarar las cosas. Otra alternativa que pueden adoptar los científicos es utilizar los servicios de comunicación de sus institutos y universidades para generar notas de prensa veraces. Esto no anula, pero minimiza bastante, la posibilidad de tergiversación mediática. Finalmente, los investigadores deberían esforzarse más por divulgar directamente sus logros. Hoy en día existen muchos medios para ello y, aunque no tienen la misma repercusión que los medios de masas, por lo menos estamos seguros de que lo que llega al gran público es científicamente correcto. Esperemos que este libro sea útil en ese sentido.

Y mientras tanto… ¿qué hacemos?

Todavía debemos esperar un poco para utilizar el término 'Antropoceno' sin comillas o directamente olvidarnos del asunto. Pero ¿qué hacemos mientras tanto? Hay varias opciones. La más fácil y menos polémica tal vez sea usar el término y ponerle comillas, como ocurre con el 'Precámbrico'. Pero la realidad es muy distinta y va desde el uso del término como si ya fuera oficial hasta la negación absoluta de su existencia. La polémica alrededor de esto la trataremos en el capítulo siguiente, aquí solo nos interesan, de momento, las posibilidades que tenemos de referirnos a esta supuesta nueva época de la historia de la Tierra caracterizada por los efectos globales de las actividades humanas. Si la época es real, no hay más que hablar, pero eso lo deciden la CIE y la UICG. Entonces, podemos esperar que se complete el proceso de evaluación o prescindir de la homologación científica del término y actuar de forma independiente. Lo que no podemos hacer es ignorar que la elaboración de la propuesta sigue adelante y que el término 'Antropoceno' ya se ha extendido por toda clase de medios, científicos o no. Como dice Ruddiman, "el 'Antropoceno' vino para quedarse". Si somos pacientes y esperamos a que los organismos correspondientes se pronuncien, tenemos dos alternativas: o bien usar temporalmente el término entrecomillado ('Antropoceno') o buscar un término alternativo provisional que no tenga connotaciones de unidad cronoestratigráfica/geocronológica. Es decir, la terminación "-ceno" no se podría usar, por tratarse de un sufijo que caracteriza las épocas del Cenozoico (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno, Holoceno). Lo mismo ocurriría con "-zoico", que es un sufijo propio de las eras del Fanerozoico (figura 9).

Las propuestas para nombres alternativos son muy variadas. Por ejemplo, hay quienes prefieren referirse, simplemente, a

periodos históricos como la Revolución neolítica, la Revolución industrial o la Gran Aceleración. Otros utilizan expresiones de connotación ambiental pero con aplicación geológica, como por ejemplo "Sistema Tierra humanizado". Esto son soluciones intermedias y pasajeras, que no complacen a casi nadie y menos a los que están impacientes por la formalización del 'Antropoceno', la mayoría de los cuales ya usan el término sin las comillas, como si fuera oficial, como medida de presión para su aprobación. Sin embargo, aun entre los que eligen esta opción, hay dos posturas claramente diferenciadas. Una es la de los miembros del GTA, la mayoría geólogos que conocen bien las reglas, y otra es la de los que son indiferentes al hecho de que el término sea oficial o no. Los primeros son como héroes que luchan por la aprobación con la ley en la mano. Hacen todos los estudios que sean necesarios, pasan por todos los filtros que haya que pasar y utilizan toda la maquinaria propagandística a su alcance con tal de salirse con la suya de forma reglamentaria. Los segundos prescinden de formalismos científicos y no piensan esperar a que los organismos competentes lo formalicen o no, dando por sentado que el 'Antropoceno' es real y se escribe sin comillas.

Hemos visto las posibilidades que tenemos, pero sigue en el aire lo que debemos hacer. Como todavía no hay sentencia (de hecho, ni siquiera propuesta), somos libres para elegir. De momento, y hasta que el GTA finalice su propuesta y la CIE y la UICG se pronuncien sobre la misma, somos libres de usar el término 'Antropoceno', con o sin comillas, o cualquier otro parecido, incluso de negarnos a aceptar que sea pertinente o necesario definir una nueva época. Para mayor claridad, la tabla 2 resume las principales alternativas existentes, clasificadas en las que son científicamente correctas, las incorrectas y otras posibilidades alternativas. Pero debemos conocer bien, y estar dispuestos a aceptar, las consecuencias de la decisión que tomemos. Las posibles consecuencias de nuestra decisión las veremos en el capítulo 5, cuando hablemos del futuro. El mensaje, por ahora, es que cualquiera que sea la opción que elijamos, sepamos lo que estamos haciendo. Esperemos que este capítulo haya contribuido a definir criterios en este sentido.

Tabla 2

Resumen de las posibilidades de referirse a la unidad histórica y/o o geológica caracterizada por el impacto humano global sobre el Sistema Tierra, mientras se discute la formalización o no del 'Antropoceno' como época.

CIENTÍFICAMENTE CORRECTAS	CIENTÍFICAMENTE INCORRECTAS	ALTERNATIVAS
Usar temporalmente 'Antropoceno' con comillas, como unidad informal	Utilizar el término 'Antropoceno' sin comillas, como unidad estratigráfica formal	Abogar por la formalización del término como una unidad diferente de época (por ejemplo, 'Antropozoico', como era)
Utilizar temporalmente un término sin terminaciones de unidades geológicas formales (-ceno, -zoico)	Usar el término 'Antropoceno' sin comillas, solo en sentido cultural, para referirse a la influencia humana sobre la Tierra	Intentar cambiar la normativa estratigráfica vigente y/o el protocolo de formalización
Si el 'Antropoceno' es validado, usarlo obligatoriamente	Si el 'Antropoceno' no es formalizado, seguir usándolo	Ignorar la corrección científica y seguir la corriente dominante
Si el 'Antropoceno' no es validado, dejar de usarlo		

Capítulo 4

‘Antropoceno’ ¿sí o no? La polémica está servida

Las principales críticas que se hacen al concepto de ‘Antropoceno’, como nueva época de la TCI, provienen del mundo de la geología y, aunque son de diversa naturaleza, casi todas se basan en que la definición de una nueva época no es necesaria o no aporta nada nuevo, y que se hace más por motivos políticos que científicos, lo cual no es un procedimiento aceptable para modificar la escala de referencia del tiempo geológico. Esto no significa, ni mucho menos, que la geología, como ciencia, ni los geólogos, como institución, sean contrarios a la idea. Entre los geólogos también hay división. De hecho, la gran mayoría de miembros del GTA, que son los que llevan la voz cantante en el asunto, son geólogos. Es lógico que las reacciones vengan del campo de la geología, puesto que se trata de modificar la TCI. Si se tratara de añadir un nuevo elemento a la tabla periódica, la reacción provendría de los químicos y si el intento consistiera en definir una nueva especie de ser vivo, serían los biólogos los afectados.

Una cosa es constatar las consecuencias de las actividades humanas sobre el Sistema Tierra, otra es definir y nombrar una fase de la historia social y humana del planeta con base en ello y otra muy distinta utilizar estos argumentos para definir una nueva época geológica. Que maltratamos el planeta y debemos cambiar de actitud está claro. Que eso defina una nueva etapa cultural de la humanidad y su relación con la Tierra, seguramente también. Lo único que se cuestiona en este caso es si la definición de una nueva época geológica siguiendo los principios de la estratigrafía está justificada. Si no tenemos eso claro y confundimos los conceptos (y, además, le agregamos un toque de perversión ideológica, como hacen algunos), la mezcla puede resultar explosiva.

Las críticas al 'Antropoceno' son principalmente de dos tipos: unas se dirigen a la propia naturaleza del concepto, negando, a veces de manera bastante vehemente, la necesidad y la conveniencia de introducir una nueva época de esta naturaleza. Según esta tendencia, ni siquiera debería presentarse la propuesta del 'Antropoceno' a la CIE. Otros científicos son más realistas y, ya que la propuesta sigue adelante, lo que hacen es advertir insistentemente sobre los requisitos que se deben cumplir para formalizar el 'Antropoceno' y recalcar que estos no pueden ser ignorados. La mayoría de estos geólogos son miembros de la CIE y de la UICG, que todavía no se pueden pronunciar porque la propuesta todavía no existe, pero, ante la avalancha publicitaria que han desencadenado los "antropocenistas" en todo tipo de medios científicos y populares, van lanzando mensajes sobre cuál es su posición al respecto, lo que nos da pistas sobre cuál podría ser el resultado de las deliberaciones de estos organismos en su momento. Algunos de los más activos en este sentido son Stanley Finney (Universidad Estatal de California), anterior presidente de la CIE y actual secretario general del comité ejecutivo de la UICG; Philip Gibbard (Universidad de Cambridge), secretario del comité ejecutivo de la CIE, y Mike Walker (Universidad de Gales), miembro de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario. A continuación, repasamos brevemente las principales críticas, empezando por las más intransigentes.

Enmiendas a la totalidad

Como ejemplo de actitud beligerante contra el 'Antropoceno' (no ya contra su formalización, sino contra su misma existencia y naturaleza) mencionaremos al geólogo norteamericano George Klein, quien escribió una crítica en 2015 en la que admitía que los efectos de la actividad humana sobre la Tierra eran claramente observables, pero dudaba de su globalidad, por lo que al registro geológico se refiere. No niega la creciente antropización global de la Tierra, pero sí que la expresión de este fenómeno se encuentre registrada en las rocas sedimentarias alrededor del mundo. Al comentar el límite inferior propuesto y su marcador estratigráfico, es decir, el aumento de isótopos radiactivos desde la primera explosión atómica de 1945, se pregunta cómo se puede cartografiar tal cosa e ironiza: "¿Significaría eso tener que ir repetidamente al campo para tomar muestras, analizarlas en el laboratorio y después volver al campo para marcar el límite, incrementando así la huella de carbono de los geólogos? ¿O tal vez los geólogos deberán llevar a partir de ahora un contador Geiger o un equipo portátil de rayos gamma para estar seguros de no perderse el límite basal crítico? (veo en eso una oportunidad de negocio para desarrollar versiones en miniatura para su uso en el campo)".

Más adelante, Klein se pregunta cuál es el potencial de preservación a largo plazo de cualquier criterio de definición del 'Antropoceno' y se contesta que seguramente muy bajo porque la mayoría de estudios que describen evidencias de alteraciones antropogénicas están hechos en áreas donde predomina la erosión, que terminaría por borrar dichas evidencias. Seguidamente, critica a los "antropocenistas", en la persona de Zalasiewicz, por afirmar que si un límite estratigráfico no posee GSSP, se puede definir según un GSSA, lo cual, como hemos visto en el capítulo anterior, no es cierto y

va en contra de las leyes de la estratigrafía (este error es repetitivo en los "antropocenistas", ya que Lewis y Maslin (2015), en su artículo en defensa del 'Antropoceno', vuelven a asegurar, erróneamente, que un GSSA es tan válido como un GSSP para definir un límite estratigráfico). Klein termina afirmando que el 'Antropoceno' no añade nada a lo que ya conocemos y que es un término sin ninguna utilidad geológica.

La posición de Klein coincide con la de muchos otros autores que no ven la necesidad de definir una nueva época para caracterizar la influencia humana sobre el planeta. Según ellos, esta influencia empezó al principio del Holoceno, con la Revolución neolítica, a la que siguieron la gran deforestación y la expansión por todo el mundo de la agricultura y la ganadería. Por lo tanto, la época antropogénica por excelencia sería el Holoceno y no haría falta definir otra nueva. Además, el Holoceno tiene la ventaja de contar con un registro geológico de más de diez milenios formado por rocas bien definidas y caracterizadas, donde la huella humana es bien patente, y de estar bien definido según las normas del Código Estratigráfico Internacional, con su GSSP. Así pues, la nueva época en que vivimos ya existiría hace tiempo y se llamaría Holoceno. En este sentido se expresan Gibbard y Walker, quienes enfatizan que una de las justificaciones clave para la definición del Holoceno como época/serie diferente del Pleistoceno es que los humanos alcanzaron niveles de población críticos y empezaron a influir en la dinámica de los sistemas naturales. Si esto no fuera así, no habría habido la necesidad de definir el Holoceno como una época diferente, sino simplemente como un interglaciar más del Pleistoceno. Por lo tanto, el argumento de la influencia humana sobre la dinámica planetaria y su expresión geológica ya ha sido utilizado una vez en la TCI y no puede ser usado de nuevo para definir el 'Antropoceno'.

¿Dónde está la unidad estratigráfica?

Muchas críticas al 'Antropoceno' vienen de su propio origen y naturaleza. En contraste con las demás unidades de la TCI, este concepto no surge del registro estratigráfico, es decir, del hallazgo de una unidad previamente desconocida (o todavía no reconocida) que hay que definir, nombrar y caracterizar, para ser añadida a la escala geológica internacional. La propuesta del 'Antropoceno' emerge de la constatación de la enorme influencia de las actividades humanas sobre la Tierra y la voluntad de plasmar este hecho en forma de una fase nueva y distinta en la historia del planeta. Para hacer esto, ya que las fases de la historia de la Tierra las define la geología a través de la estratigrafía, se ha optado por proponer la existencia de una nueva unidad estratigráfica con el rango de época. De esta manera, la propuesta del 'Antropoceno' no sería la consecuencia de una necesidad estratigráfica, sino un intento de forzar la definición de una nueva unidad geológica basada en un concepto histórico. En otras palabras, no se trataría de un problema genuinamente estratigráfico.

Como hemos visto antes, el procedimiento normal para añadir nuevas unidades a la TCI es definir primero la unidad cronoestratigráfica y su GSSP, que es la evidencia empírica necesaria para reconocer la existencia de la unidad geocronológica correspondiente. Aquí se ha seguido el camino inverso, puesto que primero se ha caracterizado un 'Antropoceno' cronológico y después se ha empezado a buscar la unidad cronoestratigráfica que demuestre su existencia. Es como si nuestro reloj de arena estuviera vacío y le pusiéramos la arena que necesitamos para que mida el intervalo de tiempo que nos interesa. Si queremos que mida una hora, le ponemos la arena necesaria para ello, y si queremos que mida un día, 24 veces más. Así, según cuál se decida que sea el inicio del 'Antropoceno', habrá que buscar uno u otro estratotipo con los

marcadores estratigráficos pertinentes. Ya que el GTA ha votado que el 'Antropoceno' empieza en 1945 y el marcador es el plutonio, ahora hay que buscar rocas de esa edad y con ese elemento. Si la decisión hubiera sido que el 'Antropoceno' empezaba con la Revolución industrial y el marcador ideal fuesen las cenizas volantes, habría que buscar otra cosa muy diferente. Y no digamos si la decisión hubiera sido que el inicio del 'Antropoceno' estaba en la Revolución neolítica.

Para los críticos, este no es el procedimiento correcto para formalizar una unidad estratigráfica. Desde un punto de vista científico general, este tampoco parece ser un procedimiento muy ortodoxo, puesto que la ciencia se basa en las evidencias empíricas para hallar explicaciones a la realidad observable, sus procesos y mecanismos. El caso del 'Antropoceno' sería al revés, es decir, primero se ha definido el proceso y ahora se está buscando la evidencia. Si, finalmente, el GTA consigue encontrar la unidad cronoestratigráfica del 'Antropoceno' y su GSSP, de forma que consiga convencer a la comunidad científica (especialmente a la geológica), entonces no habrá nada que decir, sea cual sea el protocolo seguido para ello. Pero los críticos dudan que esto sea posible.

Heterocronía del límite

El propio límite, es decir, el inicio del 'Antropoceno', no deja de ser objeto de debate, a pesar de la última decisión del GTA. Ya hemos visto que los límites entre unidades cronoestratigráficas, los GSSP, deben ser, siempre según las normas vigentes, globalmente sincrónicos en cualquier parte de la Tierra. Pues bien, los críticos del 'Antropoceno' consideran que los límites del mismo son diacrónicos y, por lo tanto, no pueden definir unidades estratigráficas de validez global. Un ejemplo lo tenemos en el origen y la expansión de la agricultura que, como hemos visto, ocurrió en diferentes momentos, a lo largo y ancho de los diferentes continentes. Por eso la Revolución neolítica no puede ser una buena opción para el inicio del 'Antropoceno'.

Pero esta no es la crítica, ya que sí se pueden encontrar límites sincrónicos, como por ejemplo el que se ha elegido, basado en la primera detonación nuclear y su huella radiactiva. La crítica es que no se puede caracterizar la influencia global de la humanidad sobre el Sistema Tierra mediante un único fenómeno ocurrido en un lugar determinado del planeta, en un momento determinado de la historia. Eventos como la construcción de un embalse en Europa, la excavación de una mina en África, la explosión demográfica de una determinada ciudad en Asia, la deforestación de la Amazonia o la Revolución industrial son distintas manifestaciones de la huella humana que ocurren en diferentes partes y en distintas fases históricas, y no hay razón objetiva para elegir una u otra como inicio de la nueva época. Si el motivo es que se debe cumplir la condición de sincronía, lo que estamos haciendo, una vez más, es tratar de adaptar la evidencia a las necesidades de un concepto preestablecido. La elección de uno u otro límite según un criterio subjetivo como este podría llevar a un observador imparcial del futuro a pensar que

estamos despreciando la capacidad de, por ejemplo, la Revolución neolítica o la Revolución industrial, de influir sobre el ecosistema terrestre global. En opinión de los que critican este punto, la variedad y el carácter heterócrono de los procesos antropogénicos impide poner un límite preciso al 'Antropoceno', por lo que difícilmente se podrá formalizar como época geológica.

La heterocronía subyacente ha llevado a algunos investigadores a criticar la propuesta del GTA de situar el inicio del 'Antropoceno' en 1945. En este caso, las críticas provienen del área de las ciencias humanas y sociales y del propio seno del grupo de trabajo. Por ejemplo, Erle Ellis, miembro de dicho grupo, y sus colaboradores consideran que la propuesta es el producto de una visión eurocéntrica, elitista y tecnocrática del asunto. Según ellos, situar el principio del 'Antropoceno' en la mitad del siglo XX sobrevalora el nacimiento y desarrollo de la Revolución industrial en Europa (algo que no ocurrió en otros continentes) e ignora milenios de influencia humana sobre la Tierra, desde el descubrimiento del fuego hasta la expansión de la agricultura. Erle y sus colaboradores se quejan de que esto no se ha discutido suficientemente dentro del GTA y se preguntan:

¿Cómo se puede definir una unidad geológica centrada en la humanidad sin caracterizar el desarrollo de las sociedades, la urbanización, la colonización, las redes comerciales, la ingeniería ecosistémica y la transición energética desde la biomasa a los combustibles fósiles? […] La comprensión de los "sistemas humanos" requiere de la participación de un cuerpo vasto y diverso de registros (arqueológico, histórico y paleoecológico) y de perspectivas (por ejemplo, la ecología y la economía políticas, la ecología histórica, la evolución cultural o la ética ambiental).

Ellis apunta que el GTA se centró casi exclusivamente en la búsqueda de una señal estratigráfica sincrónica a nivel global,

pero insiste en que "el 'Antropoceno' no se construyó en un día". La causa del sesgo está clara para estos investigadores: solo 3 de los 35 miembros del GTA que votaron a favor son científicos sociales (dos arqueólogos y un historiador de la ciencia). Lo que proponen Ellis y sus colaboradores es una reconsideración de la propuesta para convertirla en algo más transparente e inclusivo. Por ahora, dicen, las discusiones del GTA han sido cerradas y no han trascendido. Según ellos, los criterios para definir el 'Antropoceno' deben ser publicados, previa revisión por pares (el procedimiento habitual en las publicaciones científicas). Proponen una plataforma abierta de Internet para discutir todas las propuestas existentes, coordinada por un organismo nuevo, cuyo nombre podría ser Comisión Internacional del 'Antropoceno', que debería incluir una buena representación (por lo menos la mitad de sus miembros) de las áreas de antropología, arqueología, historia, sociología, geografía, paleoecología, economía y filosofía. De tener éxito esta alternativa, todavía falta mucho (bastante más de los 2-3 años previstos por el GTA) para tener una propuesta de 'Antropoceno' que someter a la consideración de la CIE. Si esto cuaja, veremos lo que dice este organismo, porque la nueva situación no se adaptaría al proceso actualmente requerido por la misma, y por la UICG, para formalizar unidades dentro de la TCI. Una vez más, parece que se está olvidando que el problema del 'Antropoceno' como época formal es geológico (porque así lo han querido sus promotores) y no ambiental ni sociológico o cultural.

La necesidad de subdividir el tiempo en porciones concretas es muy antigua y facilita la comprensión y la comunicación. Detrás de la subdivisión del tiempo hay varias filosofías. Una es nombrar los intervalos de tiempo a través de hechos concretos. Por ejemplo, el Imperio romano es la tercera fase de la civilización romana, caracterizada por el gobierno de los emperadores, entre los años 27 a. C. y 476 d. C. La era victoriana, en Inglaterra, está definida por el reinado de la reina Victoria, entre 1873 y 1901. Otra posibilidad es utilizar nombres que hagan referencia al desarrollo cultural de la humanidad. Este sería el caso, por ejemplo, de la Edad de Bronce o el Renacimiento, a los que no se les puede poner una

fecha concreta, ya que tuvieron lugar en distintos momentos históricos, según la parte de la Tierra o de los continentes que consideremos. Otra sería la opción geológica, que ya hemos comentado, y que se rige por las normas de la Guía Estratigráfica Internacional. Para muchos, entre ellos la estratígrafa norteamericana Lucy Edwards, el 'Antropoceno' se encuentra en el segundo grupo, cuyos límites son diacrónicos y, por lo tanto, no tiene sentido forzar su definición como unidad estratigráfica formal. Según esta tendencia, se trata de una cuestión conceptual; lo que se pretende es definir una etapa histórica del desarrollo de la humanidad como si fuera una unidad estratigráfica, utilizando un término geológico formal, lo cual no sería coherente.

Isocronía, heterocronía y precisión

Antes de dejar el tema de la sincronía, hay que hacer una precisión. A veces, la sincronía o heterocronía de un límite estratigráfico, considerado globalmente, puede ser una cuestión de escala. Por una parte, las dataciones radiométricas que se usan en geología están sujetas a errores estadísticos e instrumentales de medida que dependen de la metodología empleada. Esto se expresa en forma de un cierto intervalo de incertidumbre, como por ejemplo 5.500 ± 40 años AP, lo cual significa que la edad real puede oscilar entre 5.460 y 5.540 años AP. Por otra parte, las dataciones y correlaciones basadas en apariciones y extinciones de flora y fauna también poseen un error, en este caso derivado de que estos fenómenos ni son instantáneos, ya que ocurren de forma gradual, ni son exactamente sincrónicos en toda la Tierra, sino que hay un cierto desfase temporal. Por ejemplo, lo más probable es que los dinosaurios no se extinguieran de un día para otro, sino que hubiera un proceso de degradación paulatina de sus poblaciones que llevara un cierto tiempo (retraso). También es muy posible que no se extinguieran el mismo año de la misma década del mismo siglo, ni tal vez del mismo milenio, en

Europa y Norteamérica, es decir, que existiera un desfase geográfico en las extinciones. ¿Realmente existen fenómenos sincrónicos útiles para definir límites estratigráficos? La respuesta es que sí, pero que depende de la escala que consideremos.

La clave está en que los errores de datación, retrasos y desfases sean insignificantes con respecto a las edades que se están midiendo. Por ejemplo, un retraso o un desfase geográfico de 10.000 años en la extinción de los dinosaurios (que define el inicio del Cenozoico), datada en 66 millones de años atrás, sería muy poco significativo, al representar un error de solo el 0,015%. Un límite así se consideraría sincrónico. Pero el mismo error de 10.000 años para el inicio de, por ejemplo, el Holoceno (11.700 años AP) sería inadmisible para datar este límite, ya que la incertidumbre sería de más del 85%, oscilando entre 1.700 y 21.700 años AP, lo que abarca casi todo este periodo y parte del anterior.

Un ejemplo de heterocronía de esta magnitud sería la extinción de la megafauna ocurrida al final de la última glaciación, ya comentada anteriormente, que tuvo lugar entre más o menos 50.000 y 13.000 años AP. Si se quiere situar el límite del 'Antropoceno' en 1945, como recientemente acordó el GTA, el margen de error tolerable para considerar este límite global y sincrónico es muy pequeño. Por ejemplo, un error comparable al anterior, del 0,015%, significaría 0,01 años (unos tres días y medio). Es decir, el desfase geográfico de este límite, a nivel global, no podría ser mayor de siete días. Un error del 10%, que es más razonable, equivaldría a unos siete años. Cuanto más nos acercamos al presente y menor es la duración de las unidades estratigráficas en juego, mayor debe ser la precisión, es decir, menores deben ser los errores de datación y correlación de los límites para poder ser considerados sincrónicos. Por lo tanto, cuanto más reciente es una unidad estratigráfica y menos tiempo involucra, más difícil es definir límites globales sincrónicos para la misma. El 'Antropoceno', tal como lo quiere definir el GTA, es un caso extremo, puesto que es difícil imaginar algo más reciente, con menos registro geológico y menos extendido en el tiempo.

Registro geológico insuficiente

Muchos consideran el 'Antropoceno' como una propuesta de futuro más que de pasado (algo que ya comentaba Stoppani), que es de lo que se ocupa la estratigrafía. Por lo tanto, esta disciplina no sería la más adecuada para tratar el tema. Esto equivale a decir que la propuesta de una nueva época no es viable en el contexto estratigráfico actual, porque todavía no hay suficiente pasado acumulado en las rocas para ello. El concepto de 'Antropoceno' implica, en sí mismo, una proyección hacia el futuro, algo que los "antropocenistas" hacen explícito al afirmar que la huella humana en el planeta será persistente. Eso es algo que discutiremos en el próximo capítulo. La pregunta pertinente es si la evidencia estratigráfica, es decir, las rocas formadas o los sedimentos acumulados hasta el momento son suficientes para definir el 'Antropoceno' como época geológica. La respuesta de muchos geólogos es que no.

Se defina como se defina, el registro sedimentario del 'Antropoceno' todavía es muy limitado (en muchos sitios incluso inexistente) como para justificar la creación de una nueva unidad estratigráfica global. El único caso en que el 'Antropoceno' poseería un registro suficiente para tal propósito sería si se utilizara algún intervalo de mayor duración, como el llamado 'Antropoceno temprano' de Ruddiman, cuyo inicio se situaría en el Holoceno temprano/medio, con la deforestación generalizada y el inicio de la agricultura. Pero, como ya hemos indicado, esto implica un límite heterócrono que no cumple con las condiciones para ser formalizado. Para muchos, entre ellos Philip Gibbard, los propios proponentes del 'Antropoceno' mermaron mucho sus posibilidades al situar el inicio de esta hipotética época en 1945, lo cual limita mucho más la disponibilidad de registro geológico útil para la definición de la ansiada época.

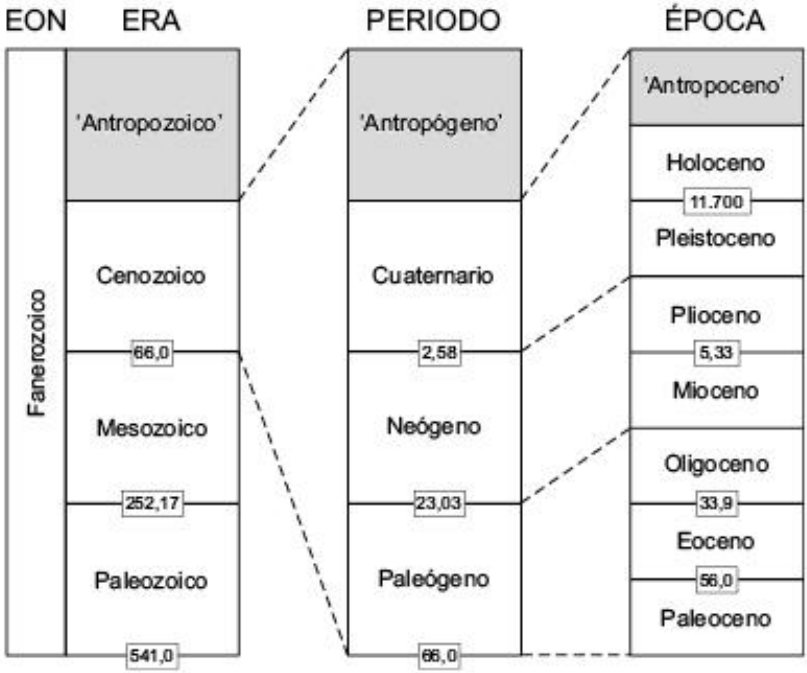
Finney y Edwards puntualizan que, así definido, el 'Antropoceno' se convertiría en algo de la misma magnitud que la vida humana, lo cual, en términos geológicos, es insignificante. En efecto, este 'Antropoceno' tendría apenas 67 años de existencia, unos 15 años menos que la esperanza de vida del europeo promedio. En estas condiciones, el estratotipo del 'Antropoceno' habrá que buscarlo en los sedimentos depositados durante los últimos 70 años, lo cual representa uno o pocos centímetros de sedimento en el caso de un lago y una capa milimétrica en muchos ambientes oceánicos. Además, esto lleva implícito que esos sedimentos deben preservarse para que los futuros habitantes del planeta puedan reconocer, en el registro geológico, el inicio de la época geológica en la que viven. Tal vez, con el tiempo, esos 70 años, o puede que incluso más, formen parte del error de datación del límite en sí, de manera que ahora estamos viviendo en el límite de lo que podría ser el futuro 'Antropoceno'. Finney precisa que la misión de la estratigrafía es desarrollar un marco geológico para el presente y no para el futuro, y que los geólogos del futuro no necesitarán ir a buscar las pruebas del 'Antropoceno' al registro sedimentario, puesto que la información necesaria sobre este intervalo de tiempo estará bien documentada en los textos y en Internet. Finney y Edwards terminan su crítica llamando la atención sobre el hecho de que, tal como ha sido definido recientemente, el 'Antropoceno' coincide con la Edad Atómica de William Lawrence, por lo que, según las normas estratigráficas vigentes, este término, acuñado en 1946, tendría prioridad sobre el término 'Antropoceno', propuesto en el año 2000. Al igual que ocurre en biología con los nombres de las especies, los términos más antiguos tienen prioridad sobre los más recientes, siempre que se refieran a lo mismo.

¿Por qué una época?

El propio término 'Antropoceno' lleva implícita una jerarquía muy concreta de la TCI. Ya hemos mencionado que la terminación "-ceno" se reserva, en el código estratigráfico, estrictamente para las épocas del Cenozoico (figura 9). Así pues, el 'Antropoceno' sería, por definición, una época. Sin embargo, ni Crutzen y Stoermer, en su propuesta original, ni ninguno de sus seguidores, en la multitud de publicaciones posteriores, dan ninguna justificación para que la nueva unidad deba tener el rango de época y no el de, por ejemplo, era o periodo. Aunque existen algunas referencias indirectas a la posibilidad de que se trate de una unidad de jerarquía distinta, nunca se discute este asunto en profundidad ni se le cambia el nombre al 'Antropoceno'. Por ejemplo, si fuera una era, debería llamarse 'Antropozoico', como sugería Stoppani un siglo y medio atrás, mientras que si se definiera como un periodo, el término apropiado sería 'Antropógeno', como propuso Pavlov hace casi un siglo (figura 12). El hecho de proponer una época, sin otra posibilidad, da al GTA poco margen de maniobra para intentar introducir una nueva unidad en la TCI. Tal vez hubiera sido más inteligente una solución más flexible, pero ahora la suerte está echada y no hay marcha atrás. El 'Antropoceno', como su nombre indica, es una propuesta solo de época. Según Walker y Gibbard, en eso los miembros del GTA no han sido muy ingeniosos.

Figura 12

Esquema de las diferentes posibilidades jerárquicas, dentro de la TCI, para la definición de una unidad estratigráfica basada en los efectos de las actividades humanas sobre el Sistema Tierra. La edad de los límites está en millones de años (Ma), excepto en el caso del límite Pleistoceno/Holoceno, que está en años.



Las malas lenguas apuntan a que tal vez Crutzen y Stoermer vieron que el término 'Antropoceno' todavía no había sido explotado, como sí lo habían sido las otras propuestas, y esto podía escribir sus nombres en la historia, lo cual parece estar sucediendo. Pero es solo una conjetura que no puede ser demostrada, a menos que se le pregunte a Crutzen, pues es el único que sigue vivo. En todo caso, esa no sería una razón objetiva para asignar implícitamente a una nueva unidad el rango de época. Recordemos que ni Crutzen ni Stoermer eran geólogos y tal vez solo se trató de una ligereza involuntaria, pero los miembros del GTA y muchos de sus seguidores sí que lo son y no han analizado este punto a fondo, más bien pasan de puntillas sobre el mismo. Solo en un artículo de 2015, Williams, Zalasiewicz y otros, al introducir el concepto de biosfera antropocena (capítulo 1) afirman: "Estas características únicas de la biosfera actual podrían ser el principio de una nueva era en la historia del planeta que

podría persistir a una escala de tiempo geológica". Lo raro es que no mencionan a Stoppani ni a su 'Antropozoico', a pesar de referirse a lo mismo. O, a lo mejor, no es tan raro, ya que si llegaran a proponer una era en lugar de una época, deberían llamarla 'Antropozoico' y atribuirla a Stoppani, lo que terminaría con toda la parafernalia que han montado alrededor del 'Antropoceno'. Si eso sucediera, Stoppani se llevaría el mérito y tanto Crutzen como Stoermer y el GTA quedarían como una anécdota histórica, una propuesta fallida, liquidada por sus propios proponentes.

Una necesidad política, no científica

El término 'Antropoceno' se ha extendido rápidamente por todas partes y ha alcanzado los más diversos campos, no solo de la ciencia, sino también de gran cantidad de actividades de la vida humana. En diciembre de 2016 este término ya se había consultado más de un millón de veces a través de Google. En el ámbito científico, ya hay tres revistas especializadas dedicadas enteramente al 'Antropoceno': The Anthropocene Review, Anthropocene y Elementa-Science of the Anthropocene. Desde un punto de vista filosófico, el 'Antropoceno' se ha considerado como una expresión de la modernidad, como un ataque al Sistema Tierra o como un imperativo biológico, es decir, como algo inevitable, inherente a la existencia del ser humano. En política, el 'Antropoceno' se ha tomado como un asalto a los derechos humanos, una consecuencia lógica del capitalismo global y el consumismo o el desacoplamiento definitivo entre la salud ambiental y el bienestar humano.

La popularidad actual del 'Antropoceno' se debe, en gran parte, al componente ambiental del concepto, pero también al éxito que han logrado sus defensores, tanto a nivel científico, inundando la literatura especializada con sus propuestas, como a nivel social, mediante la divulgación masiva a través de los medios de comunicación. Algunos críticos acusan a los "antropocenistas" de ejercer presión sobre la CIE y la UICG utilizando métodos propagandísticos para que el 'Antropoceno' se convierta en algo común para la sociedad, de forma que después sea muy difícil dar marcha atrás y no quede más remedio que aceptar el término de facto. Lo contrario sería enormemente impopular y podría ser considerado, en muchos sectores, como una negación de la influencia de las actividades humanas sobre el planeta y su funcionamiento, lo que situaría injustificadamente a todos los críticos del 'Antropoceno', como época formal, al lado de los que niegan la realidad del cambio

climático antropogénico, es decir, los defensores a ultranza del capitalismo despótico y el expolio indiscriminado de la naturaleza.

La doctrina del 'Antropoceno' está tan extendida que se está convirtiendo en ortodoxia y cualquier discrepancia puede ser vista con recelo, incluso con visos ideológicos. Por ejemplo, Richard Monastersky, editor de la revista Nature, reproduce las palabras de un geólogo que pidió no ser identificado, refiriéndose a los defensores más acérrimos del 'Antropoceno': "Hay similitudes con ciertos grupos religiosos extremadamente fanáticos que piensan que cualquiera que no profese su religión es algo así como un bárbaro". Es una alusión bastante clara al fundamentalismo. Ante esta situación, Stanley Finney afirma sentirse como "… un faro al que se viene encima un gran tsunami…". El mismo Finney, junto con la también geóloga norteamericana Lucy Edwards, después de repasar los requerimientos necesarios para que el 'Antropoceno' fuera formalizado, se expresaron de esta manera: "Cuando explicamos la diferencia fundamental del 'Antropoceno' con las unidades cronoestratigráficas establecidas por la Comisión Internacional de Estratigrafía a los que proponen su reconocimiento, ellos replican a menudo que el impacto humano sobre el Sistema Tierra debe ser reconocido oficialmente, aunque solo sea para que la sociedad y las agencias gubernamentales sean conscientes de tal impacto".

Por lo tanto, argumentan Finney y Edwards, lo que se le está pidiendo a la CIE es que haga un pronunciamiento político, lo cual no es su función. También dudan de que el reconocimiento oficial del 'Antropoceno' sirviera de acicate para frenar el deterioro global del planeta, algo que, afirman, es ya bastante conocido y reconocido social y políticamente.

Stanley Finney enfatiza en que hay términos informales referidos a eventos notables de la historia del Sistema Tierra que, a pesar de no haber sido ratificadas por la CIE ni la UICG, siguen utilizándose habitualmente. Entonces ¿por qué es necesaria la formalización del 'Antropoceno'?, ¿perdería relevancia si no se formalizara?

Anteriormente hemos visto que el principal argumento que esgrimen los "antropocenistas" es que la formalización del término serviría para reconocer oficialmente el inmenso impacto de los humanos sobre el Sistema Tierra, lo que ha hecho cambiar sus procesos para siempre. Según Finney, este razonamiento ignora que ha habido otros eventos de impacto mucho mayor y que no por ello se les ha dado un nombre formal como unidad estratigráfica. El ejemplo más llamativo lo encontramos en la evolución de las plantas vasculares terrestres que, desde hace unos 400 Ma, dejaron un registro estratigráfico muy significativo y cambiaron para siempre el balance del CO_2 y el O_2 atmosférico, creando la atmósfera actual (anteriormente, el oxígeno era muy escaso) y permitiendo, con ello, la formación de la biosfera actual. Este fenómeno, crucial en la historia de la Tierra, no posee una unidad estratigráfica que lo caracterice, sino que su registro estratigráfico está incluido en los sistemas Devónico, Carbonífero y Pérmico (figura 9). Finney se pregunta por qué el 'Antropoceno' tendría que ser diferente y responde que quizás, simplemente, por el deseo de que lo sea y nada más, lo cual lleva a considerar el 'Antropoceno' como una manifestación antropocéntrica, además de política.

¿Cuál es la solución?

Los integrantes del GTA deben tener en cuenta todas estas críticas a la hora de elaborar su propuesta, no solo porque responden a argumentos geológicos sólidos, sino porque la gran mayoría provienen, como hemos dicho anteriormente, de miembros de los comités ejecutivos de la CIE y de la UICG, que son las que finalmente deben pronunciarse sobre el particular. Presentar una propuesta que no considere todos los puntos discutidos en este capítulo sería muy poco inteligente por parte del grupo de trabajo en cuestión, puesto que estaría condenada al fracaso de entrada. Seguramente por eso, los miembros del grupo prefieren esperar de 2 a 3 años para intentar elaborar una proposición que tenga posibilidades de pasar los filtros correspondientes. Parece bastante claro que, en las condiciones actuales, el 'Antropoceno' no superaría el proceso de formalización. Veremos si en unos años, el GTA es capaz de elaborar una propuesta con mejores posibilidades de homologación oficial.

En el momento de terminar el manuscrito de este libro, los miembros del GTA acaban de publicar, en la revista alemana Newsletters on Stratigraphy, una respuesta a la mayoría de las críticas expuestas en este capítulo. En general, las respuestas representan reafirmaciones argumentadas de sus puntos anteriores sobre el 'Antropoceno' y su definición, de manera que, por ahora, parece que va a haber pocas sorpresas en la propuesta que entregarán dentro de esos 2 o 3 años. Tal vez el punto más destacado sea el que hace referencia al GSSP propuesto que, como vimos anteriormente, situaban en 1945. En su reciente respuesta a las críticas, los miembros del GTA parecen dispuestos a reconsiderar este punto al decir: "La sugerencia de utilizar el año 1945 como posible límite inferior no era una propuesta formal, sino una contribución a la discusión abierta sobre dónde y cómo situar este límite". No

aclaran si esto significa que están reconsiderando seriamente el resultado de la votación que, recordemos, ganó en 1945 por más del 80% de los votos. Pero no parece ser el caso, ya que, más adelante, plantean lo que para ellos es la pregunta fundamental que hay que hacerse: "… si la influencia antropogénica cesara mañana, ¿su señal estratigráfica seguiría siendo detectable?", a lo que responden con un rotundo sí y añaden que se mantendría por milenios, lo cual nos recuerda de nuevo la crítica de que el 'Antropoceno', planteado de esta manera, es claramente una apuesta de futuro, lo cual se analiza en el siguiente capítulo.

En su respuesta, los miembros del GTA hacen una reflexión muy interesante con respecto a la crítica de que la corta duración de su 'Antropoceno', apenas unos 70 años, no justifica que nos encontremos ante un cambio de época. Ellos argumentan que algo parecido ocurre con el límite entre los periodos Cretácico y Paleógeno, que es también el límite entre el Mesozoico y el Cenozoico, y se caracteriza por un cambio drástico en la biosfera, de la que la extinción de los dinosaurios es solo una manifestación. Este límite está representado por una capa de iridio de pocos centímetros que se considera el resultado del impacto de un meteorito y que se habría depositado en pocos días, pero que representa un cambio fundamental e irreversible en la historia biológica del planeta, cuya señal estratigráfica es y será permanente.

Un hipotético observador que hubiera vivido este cambio lo habría percibido claramente como una revolución biosférica radical, tal como podría estar sucediendo hoy en día con el 'Antropoceno'. Lo que dicho observador no podría haber sabido es si tal cambio se mantendría en el tiempo y sería irreversible; pero si se hubiera arriesgado a proponer que había empezado una nueva era, la que hoy llamamos el Cenozoico, el tiempo le habría dado la razón. En otras palabras, su apuesta de futuro habría resultado ganadora. ¿No podría estar ocurriendo lo mismo con el 'Antropoceno'? El próximo capítulo intenta dar algunas claves para responder a esta pregunta.

Capítulo 5

Los posibles futuros

Que el 'Antropoceno' es una apuesta de futuro está fuera de toda duda si nos fijamos en su propuesta original y en los argumentos de los "antropocenistas" del GTA y sus seguidores. Como vimos anteriormente, al definir el término y el concepto, Crutzen y Stoermer consideran que lo único que podría evitar la realidad del 'Antropoceno' sería una catástrofe que acabara con la humanidad (o la mayor parte de ella) y citan eventos como enormes erupciones volcánicas, guerras nucleares, impactos de asteroides, glaciaciones o nuestra propia estupidez, que podría desencadenar un colapso ecológico a nivel global. Por otra parte, Williams y sus colaboradores pronostican que la influencia de los humanos sobre el planeta Tierra podría ser de carácter poco menos que permanente. Tales afirmaciones se basan en la premisa de que seguiremos existiendo, dominando el funcionamiento del Sistema Tierra y dejando huellas geológicas en el mismo por miles o millones de años (algunos piensan que para siempre, sea lo que sea que esto signifique), lo cual no puede tomarse como un axioma y merece un análisis más profundo.

Por ahora, solo podemos hacer conjeturas, pero merece la pena plantearlas ya que, de lo contrario, nos quedaríamos con la única presunción de la inevitabilidad de nuestra presencia e influencia más o menos perenne sobre el planeta. En otras palabras, si nos creemos capaces de predecir el futuro, hagámoslo, pero sin descartar ninguno de los futuros posibles. Esto es lo que haremos en este capítulo, que será el más especulativo del libro, pero no por ello el menos científico, ya que no nos basaremos en elucubraciones gratuitas, sino en el conocimiento del que disponemos actualmente sobre las vicisitudes pasadas de la biosfera y la evolución biológica, en especial la humana. Aunque la especulación por sí misma podría parecer poco seria, incluso frívola, puede ser muy útil

para la ciencia, siempre y cuando se sepa cómo utilizarla y se sea consciente de sus limitaciones. En tanto que acto creativo, especular puede ser el primer paso para la proposición de hipótesis novedosas a ser contrastadas científicamente con evidencias.

En el ámbito científico, se considera que lo especulativo difiere de lo hipotético en que lo primero carece de cualquier método de validación, mientras que lo segundo dispone de posibilidades reales de corroboración, es decir, de la existencia (aunque sea teórica) de evidencias empíricas que permitan verificar o no las proposiciones en cuestión. En otras palabras, una especulación se puede convertir en una hipótesis si nos preocupamos por encontrar alguna manera de comprobarla empíricamente, aunque no llevemos a cabo dicha comprobación. En el caso del futuro, la única posibilidad de pasar de la especulación a la hipótesis es tener paciencia y una larga vida, lo cual puede no ser suficiente en casos como el que nos ocupa. Preguntas como ¿terminará algún día nuestra influencia sobre el Sistema Tierra y su manifestación estratigráfica?, ¿se producirá esto por extinción de nuestra especie?, ¿ocurrirá aún con nosotros presentes en la Tierra? podrían tardar miles o millones de años en responderse. Pero la curiosidad humana es irrefrenable y la paciencia escasa, y no podemos esperar tanto, necesitamos respuestas más rápidas. Entonces recurrimos a lo que llamamos modelos predictivos, que no son sino concatenaciones lógicas de causas y consecuencias, muchas veces acompañadas de artilugios matemáticos, que intentan aprovechar el conocimiento científico disponible sobre procesos similares a los analizados para llegar a pronósticos más o menos fundamentados. Tal vez los modelos de futuro más populares sean las predicciones meteorológicas, que utilizan el conocimiento disponible sobre el funcionamiento del sistema climático para construir una maquinaria lógico-matemática que pueda simular lo que debería ocurrir en el futuro cercano. Como es lógico, esto tiene sus limitaciones y la confiabilidad de los resultados siempre dependerá de lo bien que conozcamos los procesos involucrados y lo hábiles que seamos en la construcción de esta especie de máquina del tiempo. Muchas veces, la frontera

entre especulación, hipótesis y modelo es muy tenue y difícil de definir, pero, hasta que no se invente una máquina del tiempo capaz de transportarnos físicamente al futuro, estas son las armas que tenemos para afrontar las predicciones.

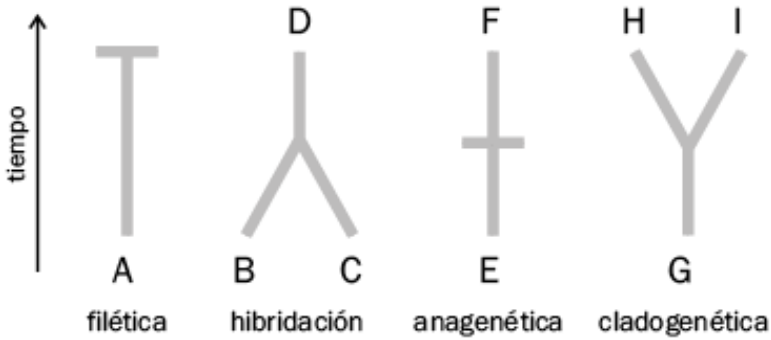
¿Somos eternos?

Esta pregunta, además de inevitable, es trascendental, porque si somos eternos, no hay nada más que decir: el 'Antropoceno' o cualquier otra unidad estratigráfica que empiece por "Antropo-" sería la última de la TCI, sin posibilidad de que exista otra posterior. Es fácil pensar que, en estas condiciones, la nueva unidad quizás se merece ser algo más que una época. ¿Tal vez una era, el 'Antropozoico', como propuso Stoppani hace más de 140 años? La última era de la TCI… Pero la condición de eternidad referida a la especie humana es más bien un asunto filosófico-religioso.

El conocimiento acumulado hasta ahora sobre la evolución de los seres vivos nos enseña que no hay especies eternas, todas terminan por extinguirse, y no hay ningún motivo científicamente válido para pensar que nosotros debamos ser una excepción. La idea de que algún día dejaremos de existir y daremos paso a un mundo sin humanos parece inexorable, pero eso no significa que nuestra extinción se produzca necesariamente de forma catastrófica. Esta idea está bastante arraigada, no solo en nuestra sociedad en general, gracias a la literatura y las películas de ciencia ficción, sino también entre muchos científicos (a veces inadvertidamente), como por ejemplo Crutzen y Stoermer, que afirmaron que una catástrofe exógena (producida por agentes externos como meteoritos, volcanes o glaciaciones) o endógena (como consecuencia de nuestra propia autodestrucción) sería la única forma de terminar con el 'Antropoceno'. Recurriendo de nuevo al registro fósil como evidencia evolutiva, nos damos cuenta de que han existido por lo menos cuatro tipos de extinción, de los cuales solo uno es del tipo catastrófico. Dicho de otra manera, existen tres formas de extinguirse por medios no traumáticos ni destructivos (figura 13).

Figura 13

Tipos de extinción documentados en la evolución de los seres vivos a través del registro fósil. Las especies que se extinguen (A, B, C, E, G) se encuentran en la base y las especies resultantes (D, F, H, I) en el tope de las trayectorias temporales representadas por las líneas grises.



Fuente: Basado en Rull (2009).

La extinción filética es la que se produce por desaparición total de una especie, después de la muerte de todos sus representantes, lo cual hace desaparecer su dotación genética de la faz de la Tierra. Este sería el caso de una extinción catastrófica de la humanidad debida a causas externas o a la autodestrucción. La extinción por hibridación se produce cuando dos especies que son fértiles entre sí, es decir, cuya reproducción cruzada es posible, dan lugar a una especie diferente (híbrida) que se convierte en dominante, desplazando a las especies originales. La extinción anagenética tiene lugar cuando una especie sufre modificaciones genéticas tan pronunciadas que se convierte en otra distinta. La extinción cladogenética implica la aparición evolutiva de dos o más especies a partir de una original, que es la que se extingue. La hibrización y los procesos anagenéticos y

cladogenéticos también se denominan pseudoextinción, ya que, a pesar de que las especies parentales desaparecen, parte de su acervo genético sigue presente en las especies derivadas. En el caso de nuestra especie, la hibridación es el tipo de extinción menos probable que nos espera, al no existir, por lo menos en nuestro planeta, otras especies suficientemente parecidas como para ser fértiles con la nuestra. Sin embargo, parece que este fenómeno no ha sido raro en el transcurso de nuestra evolución. Por ejemplo, cada vez existen más pruebas de mezcla genética entre los Homo sapiens de hace 30-40.000 años con los neandertales de la época. Y esas evidencias están en nuestros propios genes, de manera que los humanos actuales tenemos herencia neandertal.

La extinción anagenética y la cladogenética, por su parte, son buenas alternativas o, por lo menos, no descartables a priori, de la extinción catastrófica. La cladogénesis es la que se antoja más difícil, ya que generalmente requiere de la separación física de dos o más poblaciones hasta imposibilitar su reproducción cruzada, de manera que lo que inicialmente eran poblaciones de la misma especie se acaban convirtiendo, con el tiempo y el aislamiento reproductivo, en especies distintas. Debido a la globalización y al nivel de interconexión física actuales, es difícil pensar en un grado de aislamiento reproductivo tal como el necesario para dar lugar a dos especies diferentes a partir de los humanos. Hipotéticamente, sin embargo, este caso podría darse si, en el futuro, colonizáramos otros mundos y el contacto físico con ellos y entre sí se redujera notablemente.

La transformación progresiva de nuestra especie en otra distinta (anagénesis), con la consiguiente extinción de los actuales humanos, es algo que también flota en el ambiente no solo por las historias de ciencia ficción sobre cyborgs, sino también por la capacidad que ya poseemos de modificar los genomas y que se espera que aumente espectacularmente en un futuro no muy lejano. La posibilidad de intervenir activamente en nuestra propia evolución se ve como algo cada vez más probable y de consecuencias menos previsibles. Pero aun sin esa capacidad, la transformación de la especie humana

en otra distinta de forma, digamos, natural, no debe descartarse. Algunos piensan que la evolución biológica humana ya se ha detenido y ahora solo evolucionamos culturalmente, pero no hay ninguna prueba de ello (más bien de lo contrario).

Es indiscutible que desde hace siglos la evolución cultural es mucho más evidente que la biológica, pero hay que situar esto en la perspectiva temporal correcta y no perder de vista que la evolución cultural es, por naturaleza, mucho más rápida que la biológica, que transcurre a una escala de miles y millones de años y, por lo tanto, es casi imperceptible en un contexto histórico. De ahí a que la evolución biológica de la especie humana haya cesado existe un gran abismo. Sería como comparar dos relojes, uno normal, que da la vuelta cada 12 horas y tiene un segundero que no para, con otro que tarda un siglo en completar un ciclo. Comparado con el primero, el segundo parecería que está parado, pero nada más lejos de la realidad; él sigue su curso y, al cabo de un siglo, habrá dado una vuelta completa, durante la cual habrán tenido lugar muchos más cambios y más trascendentales que los ocurridos durante una vuelta de reloj normal. A pesar de ser comparativamente lenta, la evolución biológica lleva a transformaciones muy importantes que, una vez materializadas, sin duda justifican el tiempo invertido.

Otra característica de la evolución es su contingencia y, como consecuencia, su imprevisibilidad. Por ejemplo, el mundo sería muy distinto si los dinosaurios (y muchos otros grupos de organismos, casi el 75% de la biodiversidad existente para ese tiempo) no se hubieran extinguido hace 66 millones de años, o si lo hubieran hecho hace 10 millones de años.

La historia evolutiva está plagada de sucesos impredecibles de este tipo que modifican constantemente las tendencias de cambio genético y morfológico que gobiernan la evolución de las especies. No existe un plan ni un guion preestablecido ni un objetivo al que llegar. El paleontólogo norteamericano Stephen Gould decía que si pudiéramos rebobinar la cinta de la evolución y volver a pasarla, pero en distintas condiciones de

referencia, el resultado sería muy distinto y es muy probable que los humanos ni siquiera hubiéramos llegado a existir. Todo esto hace que no podamos predecir nuestro futuro evolutivo a largo plazo.

Si echamos la vista atrás dentro de nuestra propia línea evolutiva, nos damos cuenta de que hace pocos millones de años nuestros ancestros todavía andaban a cuatro patas, y si vamos todavía más atrás, éramos algo parecido a una zarigüeya. ¿Cómo seremos dentro de cinco o diez millones de años? Nada nos permite predecirlo con certeza, pero, viendo los precedentes, seguramente muy distintos a lo que somos ahora, a menos que tengan razón los que creen que, con el tiempo y la tecnología, podremos llegar a dirigir nuestra propia evolución en mayor o menor grado. Si ya nos quejamos de cómo estamos dejando el planeta simplemente por haber aprendido a explotar sus recursos sin ningún miramiento ni conciencia de especie, ¿qué podríamos esperar si, encima, pudiéramos controlar nuestro propio destino evolutivo? En las condiciones actuales, seguro que nada bueno.

¿Adónde nos lleva todo esto? En síntesis a que, por una parte, parece que podemos despedirnos de nuestras pretensiones de inmortalidad como especie y, por otra, también podemos decir adiós a predecir nuestro futuro evolutivo a largo plazo. Tal vez la mayor seguridad de futuro que tengamos sea que nuestra especie se extinguirá por la vía que sea y la Tierra seguirá sin nosotros. No hacemos mucha falta. Hemos estado ausentes durante prácticamente toda la historia del planeta (recordemos que nuestra presencia se limita a los últimos 200.000 años, de los 4.600 millones de años que tiene la Tierra) y parecería pretencioso creer ahora que podemos acabar con él. Somos tan antropocéntricos que equiparamos el destino de nuestra especie con el de todo el planeta. Tal vez seamos capaces de dejar como herencia a las especies que nos sucedan una biosfera bastante depauperada, comparada con la que encontramos, pero no acabaremos con ella. La biosfera ha sufrido y se ha recuperado de catástrofes mucho mayores, como por ejemplo de la extinción masiva que marca el límite entre los periodos Pérmico y Triásico (hace unos 250 millones

de años), cuando desapareció aproximadamente el 90% de la biodiversidad existente. Este tipo de extinciones masivas se han producido varias veces a lo largo la historia de nuestro planeta y la biosfera siempre se ha recuperado a partir del remanente de vida que ha quedado. Después de nuestra extinción, lo más probable es que el 'Antropoceno', el 'Antropozoico' o lo que sea ya no tengan sentido, como probablemente tampoco la TCI entera como construcción humana que es; a menos que la especie o especies que nos sucedan sigan interesadas en estas cuestiones estratigráficas, lo cual también es del todo imprevisible.

¿Desaparecerá nuestra huella geológica?

Además de nuestra extinción como especie, ¿qué otro fenómeno podría hacer que la huella que estamos dejando en el registro geológico se interrumpa y, por lo tanto, la eventual unidad estratigráfica caracterizada por el impacto humano se pueda dar por terminada? La respuesta de Crutzen y Stoermer es una catástrofe global provocada por agentes externos o un colapso socioecológico causado por nosotros mismos. En cualquier caso, una disminución drástica de la población humana y/o de su potencial para interferir en el funcionamiento del Sistema Tierra. Según otros científicos, como el ya mencionado Thomas Berry, la tendencia actual de expolio incontrolado de la naturaleza cesará y llegará el 'Ecozoico', en el que el uso racional de la tecnología llevará a la convivencia de los humanos con la Tierra en un estado de beneficio mutuo. Esta segunda opción mantiene la esperanza de que los humanos seamos capaces de darnos cuenta del daño que estamos infligiendo a nuestro planeta (y a nosotros mismos) y, arrepentidos, cambiemos nuestro comportamiento en aras de un mundo mejor.

Esta esperanza se podría basar en la creencia de que los humanos somos intrínsecamente buenos y solo estamos pasando por un mal momento. Otra posibilidad sería que, aunque ahora mismo no seamos tan buenos, sí podríamos llegar a transformarnos en algo mejor, bien sea por evolución biológica o por desarrollo cultural. En resumen, sin extinguirnos, tenemos tres posibilidades de volver a una Tierra más natural, donde nuestra huella geológica sea invisible o casi: un colapso cultural importante (aunque no fatal), un cambio de conducta (sin cambios en nuestra propia naturaleza humana) o la evolución hacia un estadio de conciencia superior, en el camino hacia la plena conciencia de especie o hacia el Punto Omega de Teilhard de Chardin.

Por ahora solo tenemos criterios científicos para analizar la primera de las alternativas y aún de forma bastante parcial. Las otras dos posibilidades contienen una elevada carga filosófico-religiosa y finalista sobre la naturaleza humana, aunque en la primera es más patente que en la segunda. Esto no implica que no sean alternativas probables o deseables, solo que, por el momento, su análisis científico no es posible.

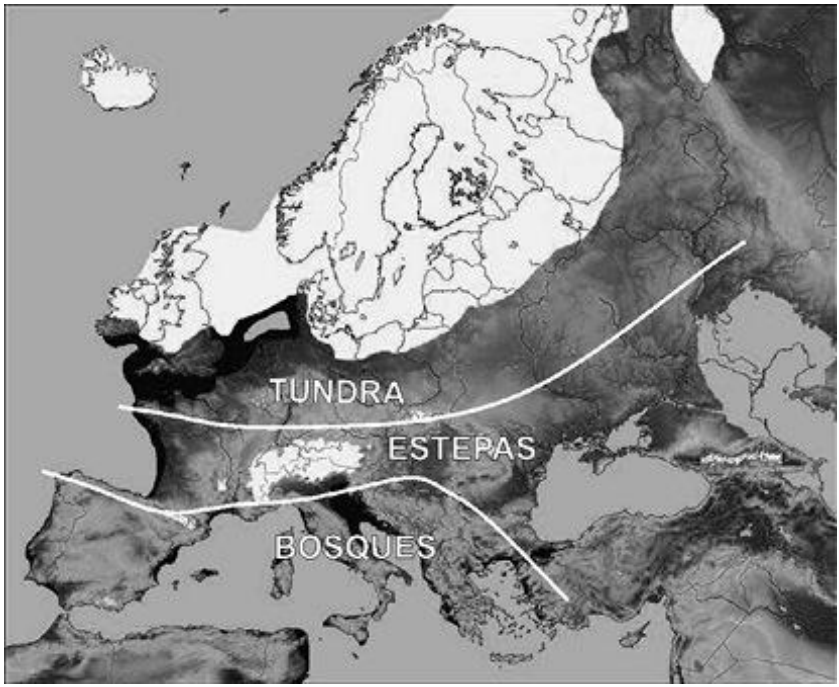
De las posibles catástrofes que podrían diezmar la humanidad —o las capacidades humanas— lo suficiente como para que nuestra huella fuera imperceptible, algunas, como por ejemplo las erupciones volcánicas o los impactos de meteoritos (y no digamos una guerra nuclear o una catástrofe ecológica global provocada por nosotros mismos), son de muy difícil predicción y todavía no se han desarrollado métodos adecuados para ello. También hay que tener en cuenta que catástrofes de este tipo no solo diezmarían dramáticamente la población humana, sino que además podrían dejar un planeta bastante empobrecido, como es frecuente ver en muchas películas de ciencia ficción donde lo que queda de la humanidad vive precariamente, prácticamente sin recursos naturales ni fuentes de energía, muchas veces escondida, incluso bajo tierra, para protegerse de la contaminación y la radiactividad ambientales. En estas condiciones, es muy posible que nuestra huella geológica dejara de ser tan visible, pero también lo es que el planeta no sería, ni mucho menos, tan natural y saludable como deseamos. Pero, como hemos dicho antes, esto es difícilmente predecible con criterios científicos. Las glaciaciones, en cambio, al ser fenómenos cíclicos más o menos regulares, tienen más posibilidades de ser pronosticadas, incluso utilizando modelos matemáticos.

El periodo glaciar por excelencia es el Pleistoceno, durante el cual han tenido lugar más de 40 glaciaciones globales con sus correspondientes fases interglaciares intermedias. Durante la última glaciación, cuyo máximo tuvo lugar hace unos 18.000-21.000 años, los mantos de hielo del Polo Norte descendieron hasta cubrir la parte norte de América y Europa, de manera que áreas como Canadá, Gran Bretaña o los países escandinavos estaban bajo varios kilómetros de hielo, mientras

que Estados Unidos y el centro de Europa estaban ocupados por la tundra y estepas frías como las que hoy en día dominan Siberia (figura 14). Además, los glaciares de montaña de todas las latitudes también descendieron hacia cotas inferiores. En ese momento, esto no representó mayor perjuicio para la humanidad, dada la escasa ocupación del planeta, pero en las condiciones demográficas actuales, una glaciación así sería catastrófica. En Europa, por ejemplo, la única región climática y ecológicamente confortable para la vida humana sería la parte sur (lo que algunos anglosajones llaman despectivamente los PIGS, por las iniciales de Portugal, Italy, Greece y Spain), que se recubriría por bosques como los que actualmente crecen en el centro y el norte del continente. La vegetación mediterránea seguramente desaparecería y se vería desplazada a África.

Figura 14

Aspecto general de Europa durante el último máximo glaciar, ocurrido hace unos 18.000-21.000 años. Los mantos de hielo continental, de varios kilómetros de espesor, están representados en blanco.



Hay que precisar que las glaciaciones no empiezan de golpe, de manera que existe cierta posibilidad de adaptación, pero el impacto sería elevado, ya que se nuestro hábitat se reduciría mucho y llevaría a un detrimento notable de nuestra capacidad tecnológica, sin mencionar los conflictos que seguramente se desencadenarían por la ocupación del territorio y la utilización de los recursos, ya que los países más afectados serían, precisamente, los más industrializados. Las glaciaciones han sido más o menos rítmicas, con un periodo de unos 40.000 años hasta 800.000 años atrás y otro periodo de unos 100.000 años desde entonces. Esto significa que, hasta hace 800.000 años, tenía lugar una glaciación cada 40.000 años y posteriormente, las glaciaciones han ido ocurriendo cada 100.000 años. Estos ciclos están gobernados por parámetros relacionados con la rotación y la traslación de la Tierra alrededor del Sol, por eso son cíclicos y se pueden describir matemáticamente, pero no entraremos en detalles. Lo que nos interesa aquí es saber que actualmente vivimos en una época interglaciar, el Holoceno, que empezó hace 11.700 años, y que

la duración de los interglaciares anteriores ha oscilado entre más o menos 10.000 y 30.000 años, por lo parece lógico preguntarnos cuán cerca estamos de la próxima glaciación. Teniendo en cuenta el ritmo y la duración de los interglaciares anteriores, se ha estimado que la próxima glaciación podría empezar entre unos 1.500 y 10.000 años, mientras que el máximo de esta glaciación tendría lugar dentro de 60.000 años. Es decir, que la fecha más temprana propuesta para el inicio de la próxima glaciación sería el año 3500, más o menos, lo cual supone que el frío glacial y el avance de los hielos no nos afectarían hasta dentro de unas 60 generaciones. En estas condiciones, si la próxima glaciación fuera lo suficientemente intensa como para hacer desaparecer la huella humana del registro geológico, el 'Antropoceno' no habría sido más que un intervalo relativamente corto de tiempo dentro del interglaciar actual y no habría necesidad de definirlo como una época distinta del Holoceno. Si, a pesar de la glaciación, nuestra huella persistiera globalmente, entonces, el 'Antropoceno', como época, podría empezar a tener sentido.

Pero también hay quien piensa que el calentamiento global actual no se detendrá y la próxima glaciación se pospondrá indefinidamente. Por el momento, no hay modelos predictivos que soporten esta opción, pero la posibilidad está en la mente de algunos. Lo que sí se deduce de los modelos es que la inercia del sistema terrestre es suficientemente grande como para prolongar el calentamiento por décadas y no revertir la situación hasta transcurridos varios siglos, aunque las emisiones de gases de efecto invernadero se detuvieran en este mismo instante. Como esto es totalmente imposible que ocurra, ni ahora, ni en el futuro cercano (con el actual sistema económico global, claro), parece que estamos destinados a vivir en condiciones interglaciares por bastante tiempo. De esta manera, el 'Antropoceno' iría acumulando sedimentos hasta hacerse, posiblemente, con una cantidad suficientemente grande y extendida de roca como para justificar su ingreso en la TCI como una nueva época. Naturalmente, esto todavía no lo podemos saber y no nos queda más remedio que encomendar la tarea a los científicos del futuro, si es que siguen interesados en el tema.

Sean predecibles o no, la verdad es que estamos indefensos ante los fenómenos externos que pueden acabar con nuestra injerencia en el Sistema Tierra, pero en nuestras manos está evitar una catástrofe endógena, es decir, generada por nosotros mismos. Para ello, no basta con ir poniendo remiendos a la contaminación, la sobreexplotación de recursos o la acumulación de residuos, entre otros; sino que es necesario ir al fondo del problema y cuestionar decididamente un sistema económico dominante basado en la inmediatez del beneficio, el consumismo irracional y la utopía del crecimiento ilimitado, que, además, favorecen la injusticia y la desigualdad social, tanto a nivel local como global. Pero eso, aunque evidente, es harina de otro costal y se aleja del propósito de este libro, que es eminentemente científico.

¿Cómo evolucionará la TCI?

Anteriormente hemos comentado que, si fuéramos eternos, el 'Antropoceno/zoico' sería la última época/era de la TCI, que quedaría definitivamente cerrada. En el apartado siguiente, hemos matizado esta afirmación, proporcionando una forma de que esto no sea así: que nuestra huella geológica desaparezca, gracias a una catástrofe global que, aunque no determine nuestra extinción, disminuya decisivamente nuestra influencia sobre el Sistema Tierra. En ese caso, suponiendo que las generaciones futuras todavía utilizaran la TCI, dicha escala seguiría su curso con nuevas unidades no antropogénicas. Pero ¿qué pasaría si la humanidad recuperara su vigor actual y nuestra huella volviera a manifestarse en el registro estratigráfico? ¿Habría que diferenciar el primer 'Antropoceno' del segundo? Y si se tratara de algo recurrente como, por ejemplo, las glaciaciones, ¿deberíamos entonces definir una multitud de "antropocenos" con sus respectivas unidades no antropogénicas intermedias? O, por el contrario, lo lógico sería definir un solo 'Antropoceno' que abarcara toda la secuencia y que incluyera los intervalos sin huellas antrópicas, que podrían ser consideradas subunidades especiales que no cumplen la premisa general de la época.

Como es natural, esto lo debería decidir la CIE en su momento (suponiendo, una vez más, que el sistema estratigráfico actual siguiera vigente). Lo que queda claro es que el hecho de formalizar el 'Antropoceno' como época (o el 'Antropozoico' como era), podría tener consecuencias imprevisibles para la evolución futura de la TCI, que plantearían problemas fundamentales difíciles de resolver. Como vemos, el problema de la formalización del 'Antropoceno' es más complejo de lo que parece a primera vista por las implicaciones que ello puede tener, no solo para el presente de la estratigrafía, sino también para su futuro. Pero todos estos problemas

desaparecerán cuando nos extingamos. Entonces, la TCI ya no tendrá sentido y la Tierra, con su biosfera incluida, seguirá existiendo de una forma que todavía somos incapaces de prever.

Epílogo

Muchas preguntas y algunas respuestas

Ahora ya tenemos toda la información necesaria para hacernos una idea bastante exacta (y esperemos que objetiva) de la situación actual de la propuesta del 'Antropoceno' como supuesta nueva época geológica en la que ha entrado el planeta Tierra, así como de las posibles consecuencias, tanto si esta propuesta se llega a aprobar como si no. Por lo tanto, ya estaríamos en condiciones de preguntarnos si la propuesta nos parece oportuna, necesaria y qué posibilidades puede tener de alcanzar el éxito.

No existe una respuesta única ni sencilla, porque se trata de un asunto complejo, con múltiples aspectos e implicaciones, y hay que analizar todas las facetas del problema. Pero tampoco se trata de escurrir el bulto. Si se analiza bien la situación y se hacen las preguntas apropiadas, se pueden dar respuestas concretas, sin caer en vaguedades, dilaciones y evasivas. Siempre, claro está, que se sea consciente de que nos encontramos casi al principio del proceso de formalización del 'Antropoceno' y que, con el devenir de los acontecimientos, todo puede cambiar en uno u otro sentido, incluso llegar a situaciones por ahora insospechadas. Por lo visto hasta ahora, hay una serie de preguntas que se podrían considerar básicas para abordar la situación. Las respuestas que damos aquí se basan en lo analizado a lo largo del libro y deben ser consideradas como preliminares, lo más fundamentadas posible, pero preliminares al fin y al cabo.

¿La humanidad ha pasado a ser un factor dominante con respecto a las fuerzas comúnmente llamadas naturales hasta el punto de cambiar la dinámica del Sistema Tierra?

Parece que no hay la más mínima duda, como también parece cierto que si no cambiamos de actitud con respecto a la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación, la acumulación de residuos, etc., la situación será insostenible a corto o medio plazo.

¿Esta influencia ha dejado una huella suficientemente clara y extensa en el registro geológico como para ser reconocible y perdurable?

Sin duda. Y desde hace milenios. Aparte de los restos fósiles de homínidos anteriores al Homo sapiens y sus primitivas herramientas, hay evidencias geológicas más que suficientes para caracterizar la influencia humana sobre la Tierra, sobre todo desde los inicios del Holoceno. Las rocas holocenas están muy bien desarrolladas y caracterizadas, y poseen una entidad estratigráfica y una extensión geográfica suficiente como para ser perdurables en el tiempo.

¿Las primeras huellas geológicas de la influencia de las actividades humanas sobre la Tierra son globales y sincrónicas?

Son globales pero no sincrónicas. Las primeras evidencias incontrovertibles de influencia humana sobre la Tierra como sistema son las correspondientes a la Revolución Neolítica, es decir, la deforestación general y el surgimiento y la expansión global de la agricultura y la ganadería, que ocurrieron en todos los continentes, pero en distintas fechas, desde más o menos 8.000 hasta 5.000 años AP. Estas actividades han dejado huella en las rocas holocenas, donde se pueden detectar alteraciones globales de la concentración de CO_2 y CH_4 atmosféricos, como consecuencia de las actividades descritas.

¿Por qué no se puede definir una unidad estratigráfica formal como el ‘Antropoceno’ con estas primeras evidencias de la influencia

humana sobre el sistema Tierra?

Las normas estratigráficas vigentes requieren que las unidades estratigráficas formales de la TCI sean globales y sincrónicas. Las rocas que albergan las primeras evidencias de influencia humana cumplen con la condición de globalidad pero no con la de sincronía.

¿Existen otras manifestaciones geológicas de la influencia humana sobre el Sistema Tierra que sean globales y sincrónicas?

Sí, pero son mucho más recientes y están relacionadas con eventos documentados históricamente. Aparte de algunos eventos cuya manifestación geológica todavía está en discusión, existen otros cuya huella es muy clara, como son la Revolución industrial (iniciada a finales del siglo XVII), la Gran Aceleración y las primeras pruebas nucleares, a mitad del siglo XX. Estos eventos han dejado huellas globales y algunas de ellas sincrónicas en las rocas y sedimentos, como por ejemplo cenizas volantes producto de la quema de combustibles fósiles, aparición de contaminantes (fluorocarbonos, plástico) o incremento de elementos radiactivos (sobre todo isótopos de carbono y plutonio) como consecuencia de las explosiones nucleares.

¿Existe algún inconveniente para definir el 'Antropoceno' con base en estas evidencias sedimentarias más recientes, globales y sincrónicas?

Según el GTA no, ya que son las que piensan utilizar para definir esta nueva época. Pero para muchos críticos sí, ya que dudan de que las señales que han dejado estos eventos sean suficientemente extensas (tanto en el espacio como en el tiempo) y perdurables como para justificar la existencia de una nueva época geológica según el registro estratigráfico. Debemos tener en cuenta que las unidades estratigráficas no se definen con base en intervalos de tiempo sino que deben

existir las evidencias físicas correspondientes, es decir, los cuerpos de roca que las caracterizan.

¿Cuál es el estado actual en el camino hacia la eventual formalización del 'Antropoceno' como la supuesta nueva época geológica en la que vivimos?

Actualmente, el GTA está elaborando la propuesta formal, que estima tener finalizada hacia 2019-2020. Una vez ultimada, esta propuesta será sometida a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario para ser votada. Si supera el 60% de votos positivos, la propuesta pasará al Bureau de la CIE, que también la votará y, si se vuelve a superar el 60% de valoraciones positivas, se remitirá al comité ejecutivo de la UICG para su ratificación. Si menos del 60% de los miembros de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario o del Bureau de la CIE votan positivamente, la propuesta será rechazada. También puede no ser ratificada por la UICG aunque supere estas dos instancias.

¿Qué le falta al GTA para elevar la propuesta a la CIE?

Por ahora, el GTA ha acordado el límite inferior, es decir, el principio del 'Antropoceno', que ha situado en 1945 y ha elegido como el marcador estratigráfico más útil el aumento del plutonio atmosférico que está registrado en los sedimentos correspondientes. Para poder proponer una nueva unidad estratigráfica es imprescindible disponer de un estratotipo y un GSSP, que es lo que ocupará toda la atención de este grupo de trabajo durante los próximos 2 o 3 años.

¿La voz del GTA es unánime?

No. Las decisiones se toman por votación y la propuesta actual de situar el inicio del 'Antropoceno' en 1945 no es compartida

por todos (obtuvo el 80% de los votos). Los disidentes se quejan de que en el GTA hay muy pocos representantes de las ciencias humanas y sociales, lo cual repercute en una sobrevaloración de los aspectos geológicos sobre los sociológicos, que, según ellos, son parte fundamental del problema del 'Antropoceno'. Proponen que las discusiones sean totalmente abiertas, a través de Internet, y que se cree una comisión especial para tratar el tema, fuera de la CIE (lo cual podría resultar incongruente con la oficialización del término en la TCI).

¿Cuál es la actitud de los miembros de la CIE y la UICG ante las ideas que el GTA está difundiendo sobre su concepción del 'Antropoceno'?

Los miembros de las altas jerarquías de la CIE y la UICG se muestran a la expectativa pero, a falta de propuesta, todavía no pueden actuar. Algunos de ellos publican artículos en medios científicos que recuerdan insistentemente a los miembros del GTA los requisitos que se deben cumplir para añadir una unidad estratigráfica a la TCI. La impresión general que dan sus escritos no es de una actitud favorable ni desfavorable, más bien escéptica. Algunos afirman sentirse muy presionados, hasta nerviosos, por la campaña que los miembros del GTA están desplegando en medios científicos y de comunicación de masas.

¿Cuáles son las principales críticas que se le hacen a la propuesta del 'Antropoceno'?

Hay dos clases de reacciones críticas, las que consideran que el concepto de 'Antropoceno' es innecesario e inútil y las que piensan que la propuesta no puede llegar a buen término por motivos, digamos, técnicos. Los opositores creen que la propuesta no se debería presentar, pero esto ya no tiene freno. Los segundos esgrimen una diversidad de argumentos, siempre en tono de incredulidad, con respecto a la posibilidad de que el

‘Antropoceno’ logre adaptarse a las exigencias de la reglamentación estratigráfica. Algunos de ellos consideran que el concepto actual de ‘Antropoceno’ es más una cuestión política que científica y que no es competencia de la estratigrafía como ciencia.

¿Qué hacer mientras?

Todas las opciones están abiertas. Muchos ya usan el término ‘Antropoceno’, sin comillas, como si fuera una nueva época oficial del tiempo geológico. Otros le ponen comillas (como hacemos aquí) por tratarse de un término informal. También hay la opción de no usar el término y, en su lugar, utilizar algún otro sin connotaciones geológicas, de significado más bien histórico-cultural, como Revolución neolítica, Revolución industrial, Gran Aceleración, Era Atómica, etc., según el evento al que haya que referirse.

¿Qué pasará si se aprueba? ¿Y si no?

Si la propuesta del ‘Antropoceno’ llega a ser aprobada por la CIE y ratificada por la UICG, pasará a formar parte de la TCI, le podremos quitar las comillas y usarla libremente como término formal. Si no, seguiremos exactamente igual que hasta ahora, es decir, con una variedad de opciones posibles. Dada la gran difusión que han tenido el término y el concepto, lo más probable es que se sigan usando, independientemente de la resolución oficial. Lo que todavía no podemos saber es si el GTA seguirá trabajando para lograr una propuesta mejor, si optará por una propuesta diferente o si se disolverá.

¿Cuáles son las posibilidades de que el ‘Antropoceno’ sea formalizado como época de la TCI?

En la actualidad, pocas o nulas, a juzgar por las críticas

científicas emitidas por los miembros de los comités ejecutivos de la CIE y de la UICG. Si los miembros del GTA tienen en cuenta los inconvenientes planteados y logran solucionarlos en su propuesta final, las posibilidades aumentarán. Si ignoran estas críticas o no proporcionan soluciones satisfactorias, las posibilidades seguirán siendo escasas o nulas.

¿Hace falta definir formalmente el 'Antropoceno' para cambiar de actitud con respecto a las relaciones de la humanidad con el Sistema Tierra?

Este es uno de los principales argumentos del GTA y sus seguidores, quienes están convencidos de que el 'Antropoceno', una vez formalizado, sería un instrumento muy valioso para ejercer la presión política necesaria de cara a cambiar nuestra relación con el planeta. Los críticos, sin embargo, creen que el impacto humano sobre la Tierra es algo suficientemente conocido y bien incorporado a la conciencia social, a nivel global, y el hecho de tener un 'Antropoceno' oficial no repercutiría en una mayor concienciación en este sentido.

Podríamos finalizar con una serie de preguntas todavía sin respuesta, cuya solución podría ser crucial para saber si el 'Antropoceno' algún día será algo real o quedará definitivamente archivado.

¿Cómo y cuándo nos extinguiremos como especie?

En el caso de una extinción no catastrófica, ¿la especie o especies que nos sucedan seguirán interesadas en la estratigrafía?

Hasta nuestra extinción, ¿seguiremos teniendo la misma influencia sobre el Sistema Tierra, con el

consiguiente impacto geológico?

O, por el contrario, ¿nuestra huella desaparecerá del registro geológico en algún momento, aunque sigamos existiendo?

En este caso, ¿cuándo desaparecerá?, ¿será la desaparición de nuestra huella geológica definitiva o temporal?, ¿será un fenómeno recurrente?

Cronología

50.000-3.000 AP. Extinción de grandes mamíferos (megafauna) pleistocenos en todos los continentes, causada por la caza masiva por parte del Homo sapiens, los cambios climáticos del final de la última glaciación, o ambos. La mayor tasa de extinción tuvo lugar en Australia, donde desaparecieron casi el 90% de estos mamíferos, seguida por Sudamérica (83%), Norteamérica (72%) y Eurasia (36%). En África, donde todavía abundan los grandes mamíferos, solo se extinguió el 18% de la megafauna.

11.500-11.000 AP. Origen de la agricultura en el Medio Oriente, Sudamérica y China, de forma casi simultánea.

~8.000 AP. Inicio de la Revolución neolítica. Extensión progresiva de la agricultura por la totalidad de Europa, Asia, América y África, hasta hacerse la actividad humana dominante, junto con la ganadería. Esta expansión fue desigual, culminando entre 7.000 y 4.000 años AP dependiendo del continente. La expansión de la agricultura y la ganadería fue acompañada de la deforestación de grandes extensiones para dedicarlas al cultivo, lo que cambió sustancialmente la composición y el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y liberó grandes cantidades de CO2 a la atmósfera.

7.500-5.000 AP. Gran expansión del cultivo de arroz en China. El cultivo de este cereal requiere terrenos permanentemente inundados, lo cual crea condiciones de anoxia que favorecen la formación de CH4 y su expulsión a la atmósfera. La irrigación de estos cultivos se hizo especialmente intensa a partir de 5.000 AP.

5.000-3.000 AP. Desarrollo a gran escala de suelos antropogénicos oscuros, caracterizados por el aumento de la materia orgánica, como consecuencia de la agricultura y ganadería extensivas.

1492. Descubrimiento de América por los europeos, con la consiguiente conexión de la mayoría de civilizaciones de la Tierra,

el primer paso hacia la globalización. El efecto más notable fue una tendencia a la homogeneización de flora y fauna, debido al transporte de especies de uno a otro continente, lo que reorganizó muchos biomas y ecosistemas, y creó otros nuevos.

1712. Primera máquina de vapor comercial, diseñada por el inventor inglés Thomas Newcomen.

1760. Inicio de la Revolución industrial en Gran Bretaña, que posteriormente se extendió por Europa y Norteamérica. La industrialización supuso el fin de la agricultura como actividad humana dominante y cambió profunda e irreversiblemente el modo de vida de los humanos, generando un nuevo orden económico mundial.

1781. El ingeniero mecánico, químico e inventor escocés James Watt patenta la primera máquina de vapor que genera movimiento rotatorio continuo, con lo cual se da un impulso decisivo a la Revolución industrial.

1854. El geólogo y teólogo galés Thomas Jenkyn introduce el término “rocas antropozoicas” para referirse a las rocas formadas después de que la humanidad poblara la Tierra.

1856. El geólogo y reverendo irlandés Samuel Haughton denomina “antropozoica” a la época en que vivimos, iniciada con la creación divina del hombre.

1864. El diplomático y filólogo estadounidense George Marsh publica su libro Hombre y naturaleza, donde cataloga los daños causados por los humanos en los ecosistemas y conmina a una actitud más responsable, dada la enorme capacidad transformadora de las actividades humanas. A Marsh se le considera el precursor de los movimientos ambientalistas y conservacionistas modernos.

1873. El geólogo y sacerdote italiano Antonio Stoppani introduce la era del ‘Antropozoico’, como consecuencia de la creación divina del Hombre, que se convierte en la fuerza geológica dominante de la naturaleza. Stoppani ya analiza la nueva “era” desde un punto de vista geológico (no solo ambiental) y propone cuáles serían las rocas más adecuadas y los mejores marcadores estratigráficos para

caracterizar el ‘Antropozoico’ que, según Stoppani, empezaba en el Paleolítico.

1883. El médico y geólogo estadounidense Joseph LeConte propone la era psicozoica para referirse a la Edad del Hombre, caracterizada por el reino de la mente. Para LeConte, el ‘Psicozoico’ empezaba en el Neolítico.

1905. Albert Einstein desarrolla el concepto de la equivalencia entre masa y energía mediante la famosa ecuación $E = mc^2$, que después constituiría la base para el desarrollo de la bomba atómica y la energía nuclear.

1914-1918. Primera Guerra Mundial.

1922. El geólogo ruso Alexei Pavlov propone el término ‘Antropógeno’ para referirse al periodo correspondiente al género humano, para diferenciarlo del Paleógeno, caracterizado por los linajes más antiguos de mamíferos, y el Neógeno, o periodo de los mamíferos modernos. Algunas traducciones de la obra de Pavlov, que estaba escrita en ruso, también utilizan el término ‘Antropoceno’, con lo cual esta sería la primera vez que se menciona este vocablo, aunque con un significado distinto a su acepción actual.

1924. El teólogo y geólogo jesuita francés Pierre Teilhard de Chardin, el matemático y filósofo francés Édouard Le Roy y el geoquímico ucraniano Vladimir Vernadsky crean, en París, el concepto de noosfera, por analogía con la atmósfera o la biosfera, que denotan, respectivamente las esferas del aire y de la vida. La noosfera sería la esfera de la mente, que surgiría de la transformación de la biosfera en un estado superior de evolución, dominado por la conciencia humana global, en la transición hacia el denominado Punto Omega o la culminación de la cosmogénesis.

1936. El geoquímico ucraniano Vladimir Vernadsky, considerado el padre de la biogeoquímica, introduce el concepto de “tecnosfera”.

1938. Vernadsky publica, en ruso, su libro El pensamiento científico como fenómeno planetario, donde defiende que, si bien las nuevas formas de energía creadas por los humanos (la máquina de vapor y

la energía atómica) inician la transición biosfera-noosfera, el motor de esa transformación es el pensamiento científico. Vernadsky ve en una biosfera completamente dominada por la humanidad, donde los procesos geológicos se han acelerado, un motivo de preocupación, para que el advenimiento de la noosfera no signifique la destrucción de la biosfera.

1939-1945. Segunda Guerra Mundial.

1945. Primeras detonaciones nucleares. La primera (16 de julio) fue la denominada Prueba Trinity, llevada a cabo en el desierto de Nuevo México (EE UU). La demás fueron las bombas atómicas que Estados Unidos lanzó sobre las ciudades japonesas de Hiroshima (6 de agosto) y Nagasaki (9 de agosto), al final de la Segunda Guerra Mundial.

1946. El periodista lituano-estadounidense del New York Times William Lawrence acuña el término “Edad Atómica”, también conocida como “Era Atómica”, para definir la fase en que habría entrado la Tierra después de la primera detonación nuclear ocurrida al final de la Segunda Guerra Mundial.

1950. Inicio de la Gran Aceleración, caracterizada por el espectacular aumento de todos los indicadores de actividad humana y el surgimiento de muchas actividades nuevas. También se multiplica la aparición de nuevos materiales como el plástico y otros productos sintéticos que son contaminantes persistentes del agua, la atmósfera o el suelo. La población mundial pasó de 3 a 6 billones en solo 50 años y la producción económica se multiplicó por 15, durante el mismo periodo.

1966. El geógrafo ruso Ivan Ivanovich Elkin utiliza el término “antroposfera” para referirse a las construcciones humanas.

1984. El geólogo italiano Pietro Passerini introduce el concepto de “antropostroma” o conjunto de todos los artefactos relacionados con la existencia humana y sus actividades.

1985. El ingeniero geólogo armenio George Ter-Stepanian introduce el término ‘Tecnógeno’ o ‘Quinario’ (que vendría después del Cuaternario, que ya habría finalizado) para designar el periodo de

mayor influencia humana sobre la Tierra gracias al desarrollo de la tecnología.

1992. El sacerdote e historiador estadounidense Thomas Berry propone el término 'Ecozoico' para designar una nueva era de armonía entre la humanidad y la Tierra, a la que se llegaría mediante el uso racional de la tecnología y la convivencia de los humanos con la Tierra, en un estado de beneficio mutuo. Al mismo tiempo, el periodista científico, también estadounidense, Andrew Revkin define el 'Antroceno' como la época posterior al Holoceno, en que los cambios climáticos ocurrirán unas 10-15 veces más rápido que las glaciaciones pleistocenas.

Siglo XX (sin precisar). Se alcanza el punto crítico del 50% en la transición desde una biosfera principalmente natural a otra mayoritariamente antropogénica.

2000. El químico atmosférico holandés Paul Crutzen y el ecólogo norteamericano Eugene Stoermer introducen la concepción actual de 'Antropoceno' como la época que sigue al Holoceno y que se caracteriza por la influencia humana sobre el Sistema Tierra y su correspondiente reflejo en el registro geológico. Crutzen y Stoermer proponen que el principio del 'Antropoceno' coincidiría con el inicio de la Revolución industrial, caracterizada por el espectacular aumento de los gases de efecto invernadero, sobre todo el CO2 y el CH4.

2009. Se constituye el Grupo de Trabajo del Antropoceno (GTA), dentro de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (Subcommission of Quaternary Stratigraphy) de la CIE o Comisión Internacional de Estratigrafía (International Commission on Stratigraphy). En el GTA participan los principales defensores del concepto de 'Antropoceno' y su misión es definir, caracterizar y delimitar esta nueva época geológica para someterla a la aprobación de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario y su posterior ratificación por la CIE y la UICG (Unión Internacional de Ciencias Geológicas).

2014-2015. El GTA celebra reuniones oficiales en Berlín y Cambridge.

2016. El GTA acuerda, por votación, que el ‘Antropoceno’ habría empezado en 1945, con la primera detonación nuclear, y el principal indicador estratigráfico sería el aumento de plutonio radiactivo registrado en las rocas desde esa fecha. Asimismo, el GTA anuncia que estará en condiciones de proponer una sección tipo o estratotipo, con su correspondiente GSSP, dentro de 2-3 años, con lo cual la propuesta definitiva a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario se espera que sea una realidad en 2019-2020. También en este año, los miembros del GTA definen la “tecnosfera física” como el conjunto de consecuencias materiales de la empresa humana global y sus estructuras sociales complejas, es decir, los resultados materiales de la aplicación de nuestra tecnología, que ya estiman de forma preliminar en unos 30 trillones de toneladas.

Glosario y abreviaturas

4

‘Antroceno’. Término acuñado por Andrew Revkin en 1992 para designar la Edad del Hombre, que seguiría al Holoceno*.

Antroma (bioma antropogénico*). Término introducido en 2008 por Erle Ellis y sus colaboradores para referirse a los nuevos sistemas ecológicos creados por la intervención humana sobre los ecosistemas naturales.

‘Antropoceno’. Término propuesto por Paul Crutzen y Eugene Stoermer, en el año 2000, para designar la nueva época geológica en la que vivimos (después del Holoceno*), como consecuencia de la influencia global de las actividades humanas sobre el Sistema Tierra* y sus manifestaciones geológicas.

Antropogénico. Generado directamente por los humanos o, indirectamente, como consecuencia de sus actividades.

‘Antropógeno’. Término creado por Alexei Pavlov para designar el periodo geológico caracterizado por la presencia del género Homo, diferenciándolo del Paleógeno* y el Neógeno*. Este término equivale, aproximadamente (en tiempo, aunque no en concepto) al actual Cuaternario*.

Antroposfera. Término utilizado por Ivan Ivanovich Elkin en 1966 para referirse a las construcciones humanas. Actualmente se considera la antroposfera como el subsistema del Sistema Tierra construido o modificado por los humanos, incluyendo también las emisiones y los desechos. Se diferencia del antropostroma* tecnológico en que la antroposfera posee connotaciones funcionales.

Antropostroma. Término introducido por el geólogo italiano Pietro Passerini (1984) para designar el conjunto de todos los artefactos relacionados con la existencia humana y sus actividades. La fracción no humana del antropostroma también se denomina antropostroma

tecnológico y coincide con la tecnosfera*.

‘Antropozoico’. Término acuñado por Thomas Jenkyn (1854) y usado posteriormente por Samuel Haughton (1856), y sobre todo por Antonio Stoppani (1873), para designar la nueva era geológica en que vivimos (después del Cenozoico*), caracterizada por la presencia del hombre sobre la Tierra y las modificaciones ecológicas y geológicas que esto ha causado. Según Stoppani, el ‘Antropozoico’ empezaría en el Paleolítico*, la fase inicial de la Edad de Piedra*.

AP (antes del presente). Expresión utilizada normalmente para referirse a edades geológicas en términos de milenios, a diferencia de Ma*, que se utiliza para referirse a una escala de millones de años. El año cero de la escala AP es 1950.

Cenozoico. Era geológica en la que nos encontramos actualmente y que empezó hace 66 millones de años, con el final del Mesozoico*. El término viene del griego y significa literalmente ‘animales nuevos’. El Cenozoico está compuesto por los periodos Paleógeno*, Neógeno* y Cuaternario*.

CIE (Comisión Internacional de Estratigrafía). Organismo científico de referencia de la UICG*, encargado de definir las unidades cronoestratigráficas*, que son la base para las unidades geocronológicas* de la TCI*, sentando así los estándares globales para expresar la historia geológica de la Tierra.

Correlación cronológica. Comparación de estratos* o secciones estratigráficas* para establecer su equivalencia en el tiempo.

Cosmogénesis. Origen y desarrollo del universo.

Cretácico. Último periodo geológico de la era Mesozoica*, de unos 80 millones de años de duración (145-66 Ma*), famoso porque su final coincide con la extinción de los dinosaurios y el inicio de la explosión evolutiva de los mamíferos. Su nombre deriva del latín creta que significa tiza.

Cronoestratigrafía. Parte de la estratigrafía* que se ocupa de la edad y la ordenación de las unidades estratigráficas*, así como del establecimiento de la escala estratigráfica global.

Cuaternario. Periodo geológico en el que nos encontramos actualmente, cuyo inicio se sitúa en 2,58 Ma*, cuando terminó el Neógeno*. El Cuaternario se subdivide en dos épocas: el Pleistoceno* y el Holoceno*, cuyo límite se encuentra en 11.700 años AP*.

Datación. Cálculo o estimación de la edad de las rocas por métodos absolutos (principalmente radiométricos, basados en la desintegración de elementos radiactivos) o relativos (correlación cronológica*).

Diacrónicos. Límites heterócronos* que se suceden de forma más o menos progresiva.

'Ecozoico'. Término propuesto por Thomas Berry para designar una nueva era de armonía entre la humanidad y la Tierra, a la que se llegaría mediante el uso racional de la tecnología y la convivencia de los humanos con la Tierra en un estado de beneficio mutuo.

Edad Atómica. Fase histórica en que habría entrado la Tierra después de la primera detonación nuclear ocurrida al final de la Segunda Guerra Mundial (1945).

Edad de Piedra. Etapa de la prehistoria humana que empieza con el uso de herramientas de piedra y termina con el descubrimiento y el uso de los metales. Su inicio se sitúa al final del Plioceno (hace unos 3 Ma*), mientras que el final depende de la región que se considere, variando entre 6.000 y 2.500 años AP*. Se subdivide en Paleolítico*, Mesolítico y Neolítico*.

Época. Unidad geocronológica* durante la cual se depositan los materiales que definen una serie*, que es la unidad cronoestratigráfica* equivalente.

Era. Unidad geocronológica* de rango mayor durante la cual se depositan los materiales que constituyen un eratema*, que es la unidad cronoestratigráfica* equivalente.

Era Atómica. Véase Edad Atómica*.

Eratema. Unidad cronoestratigráfica* de rango mayor formada por

los materiales que se depositan durante una era*, que es la unidad geocronológica* equivalente.

Escala del Tiempo Geológico. Conjunto de unidades geocronológicas* de referencia a nivel mundial.

Espeleotema. Depósitos minerales formados en el interior de las cuevas por precipitación de carbonatos (generalmente, aunque también pueden ser sulfatos) disueltos en el agua de percolación. Los espeleotemas más frecuentes son las estalactitas y estalagmitas, cuyo crecimiento suele dejar capas concéntricas anuales o estacionales.

Estratigrafía. Rama de la geología que estudia las capas de roca (estratos*) y su disposición relativa (estratificación). Se refiere principalmente a las rocas sedimentarias*.

Estrato. Capa de roca sedimentaria con litología homogénea, bien diferenciada de las infrayacentes y suprayacentes por límites claros (superficies de estratificación).

Estratotipo. Intervalo de una sección estratigráfica* que constituye el modelo para definir y reconocer una unidad estratigráfica (estratotipo de unidad) o un límite entre dos unidades (estratotipo de límite).

Fanerozoico. Eón (conjunto de eras geológicas) en el que nos encontramos actualmente y que empezó hace 541 Ma*, con el final del 'Precámbrico'*. Las eras del Fanerozoico son el Paleozoico*, el Mesozoico* y el Cenozoico*. Su nombre deriva del griego y significa, literalmente, "vida visible".

Geocronología. Parte de la estratigrafía* que se ocupa de la edad y la sucesión cronológica de los acontecimientos geológicos en la historia de la Tierra.

Glaciación. Fase de clima frío a nivel global, caracterizada por el crecimiento de los casquetes de hielo polares y los glaciares de montaña.

GSSA (Global Standard Stratigraphic Age). Edad de referencia que

define el límite inferior de una unidad geocronológica* (ej. era, periodo, época).

GSSP (Global boundary Stratotype Section and Point). Punto de referencia de una sección estratigráfica que define el límite inferior de una unidad cronoestratigráfica* (ej. eratema, sistema, serie).

GTA (Grupo de Trabajo del Antropoceno). Grupo de trabajo de la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario*, de la CIE*, encargada de generar la propuesta del 'Antropoceno'* como nueva época geológica, después del Holoceno*.

Guía Estratigráfica Internacional. Conjunto de normas que establecen los principios de la clasificación estratigráfica, y regulan su terminología y procedimientos, con el fin de promover y facilitar la comunicación científica rigurosa y precisa a nivel internacional, en el campo de las ciencias de la Tierra.

Heterócronos. Límites estratigráficos que representan un mismo evento que ocurre a diferentes edades en distintas partes de la Tierra.

Holoceno. Época* geológica en la que nos encontramos actualmente, según la TCI* vigente. Se inició hace 11.700 años y sucedió al Pleistoceno*, o época de las glaciaciones*. El Holoceno se considera una época interglaciar*, es decir, el calentamiento que se encuentra entre dos glaciaciones*. Su nombre deriva del griego y significa, literalmente, "totalmente reciente".

Interglaciar. Fase de clima cálido a nivel global, situado entre dos glaciaciones consecutivas. Los interglaciares se caracterizan por la recesión de los casquetes polares y los glaciares de montaña.

Isócronos. Límites estratigráficos que representan un mismo evento que ocurre sincrónicamente a nivel global.

Isótopo. Tipo particular de átomo de un determinado elemento químico que se diferencia de otros átomos del mismo elemento por el número de neutrones presentes en su núcleo. En estado natural, la mayoría de elementos químicos tienen más de un isótopo, que pueden ser estables o radiactivos (radioisótopos*).

Jurásico. Segundo periodo geológico de la era del Mesozoico*, de unos 55 millones de años de duración (201,3-145 Ma*), situado entre el Triásico* y el Cretácico*. Lo más característico del Jurásico es el predominio de los grandes dinosaurios y de los ammonites en el mar. Su nombre deriva de la región del Jura, en los Alpes.

Litología. Características físicas visibles de una roca como color, textura, tamaño de grano o composición mineralógica.

Localidad tipo. Punto geográfico específico en la que se ubica un estratotipo*.

Ma (millones de años atrás). Expresión utilizada principalmente para referirse a edades geológicas de millones de años, a diferencia de años AP*, que se utiliza para miles de años antes del presente.

Magma. Nombre que reciben las masas de rocas fundidas que se encuentran en el interior de la Tierra, generalmente compuestas por una mezcla de sólidos, líquidos y volátiles.

Megafauna. Animales (generalmente mamíferos) de más de 40 kg de peso corporal en su estado adulto.

Mesozoico. Segunda era geológica del Fanerozoico*, de unos 85 millones de años de duración (252,17-66 Ma*), situada entre en Paleozoico* y el Cenozoico*. Es la era de los dinosaurios y su nombre proviene del griego y significa, literalmente, “vida media”.

Metazoo. Animal pluricelular cuyo cuerpo está constituido por tejidos, órganos y aparatos. Ejemplos son los gusanos, los moluscos o los vertebrados.

Neógeno. Segundo periodo geológico del Cenozoico* (después del Paleozoico* y antes del Cuaternario*), de unos 20 millones de años de duración (23,03-2,58 Ma*). El Neógeno está subdividido en dos épocas (Mioceno* y Plioceno*). Se caracteriza por el inicio de la configuración actual de los continentes y los océanos, así como por el surgimiento de la mayoría de géneros de la biota actual. Su nombre deriva del griego y significa, literalmente, “origen nuevo”.

Neolítico. Unidad histórica. Del griego, “piedra nueva”, se refiere a

la última parte de la Edad de Piedra*, caracterizada por la presencia de piedra pulida. Representa la etapa de mayor desarrollo de la agricultura y la ganadería, y su expansión por todo el planeta. Se extiende entre aproximadamente 8.000 y 2.500 años AP*, aunque estas fechas varían en función de la región que se considere.

Noosfera. Término acuñado por Pierre Teilhard de Chardin, Édouard Le Roy y Vladimir Vernadsky en 1924, para designar la esfera de la mente (por analogía con atmósfera o esfera del aire y biosfera o esfera de la vida), que surgiría de la transformación de la biosfera en un estado superior de evolución, dominado por la conciencia humana global, en la transición hacia el denominado Punto Omega o la culminación de la cosmogénesis*.

Paleógeno. Primer periodo geológico del Cenozoico* (antes del Neógeno*), de unos 43 millones de años de duración (66-23,03 Ma*). Se caracteriza por la evolución y expansión de los mamíferos después de la extinción de los dinosaurios, al final del Cretácico*. El Paleógeno se subdivide en tres periodos: el Paleoceno*, el Eoceno* y el Oligoceno*. Su nombre deriva del griego y significa, literalmente, “origen antiguo”.

Paleolítico. Unidad histórica. Del griego “piedra antigua”, se refiere a la primera parte de la Edad de Piedra*, desde el inicio del uso de herramientas de piedra (al final del Plioceno*, hace unos 3 millones de años), hasta hace unos 12.000 años. Se caracteriza por la presencia de herramientas de piedra tallada y una economía humana basada en actividades de caza y recolección.

Periodo. Unidad geocronológica* durante la cual se depositan los materiales que definen un sistema*, que es la unidad cronoestratigráfica* equivalente.

Pleistoceno. Primera época geológica del periodo Cuaternario*, que se extiende entre 2,58 Ma* y 11.700 años AP*, cuando empieza el Holoceno*. Se caracteriza por la existencia de las glaciaciones modernas, con una frecuencia de entre 40.000 y 100.000 años, separadas por fases interglaciares, de clima más cálido. Su nombre deriva del griego y significa, literalmente, lo más nuevo. Aparece el género Homo y evoluciona hasta el surgimiento del Homo sapiens (hace unos 200.000 años). Se termina de configurar la

biodiversidad actual, las comunidades bióticas y sus patrones de distribución.

‘Precámbrico’. Subdivisión informal de la tabla cronoestratigráfica internacional (TCI)* cuyo nombre solo indica que precede al Cámbrico*, el primer periodo de la era Paleozoica*, cuyo inicio se sitúa en 541 Ma*. Representa la etapa más larga de la historia de la Tierra (casi el 90% de la misma), que empezó hace unos 4.600 Ma*. La mayoría de rocas precámbricas son de origen ígneo* o metamórfico* y su contenido fosilífero es muy bajo o inexistente, por lo que su subdivisión es complicada. Las formas de vida conocidas hasta el momento son unicelulares y la gran mayoría, procariotas*.

Procariota. Organismo unicelular o multicelular, pero sin tejidos verdaderos, cuyas células carecen de núcleo diferenciado y el material genético se encuentra disperso en el citoplasma, al contrario de los organismos eucariotas, cuyos cromosomas se encuentran dentro de un núcleo, que los separa del citoplasma mediante una membrana nuclear.

‘Psicozoico’. Término acuñado por Joseph LeConte para designar la Edad del Hombre, caracterizado por el reino de la mente. Según LeConte, el ‘Psicozoico’ empezaría en el Neolítico*, la última parte de la Edad de Piedra*.

‘Quinario’. Véase ‘Tecnógeno’*.

Radioisótopo. Isótopo* inestable radiactivo, es decir, que emite energía en forma de radiaciones electromagnéticas (rayos X, rayos gamma) o corpusculares (electrones, protones…), hasta transformarse en otro isótopo* más estable.

Roca ígnea. Roca formada por el enfriamiento y consolidación del magma. Si el enfriamiento es lento, se forman las rocas llamadas plutónicas, formadas por cristales; en cambio, si el enfriamiento es rápido (como en el caso de las erupciones volcánicas), se forman rocas amorfas (no cristalinas). Ejemplos de rocas ígneas muy comunes son el basalto o el granito.

Roca metamórfica. Roca que resulta de la modificación de otros

tipos de roca preexistentes en el interior de la Tierra, generalmente por efecto de la presión y la temperatura. Ejemplos de rocas metamórficas son la cuarcita, que se forma a partir de la arenisca, o el mármol, que deriva de la alteración térmica de la caliza.

Roca sedimentaria. Roca dispuesta en capas o estratos, formada por la acumulación de sedimentos o material particulado transportado por el agua, el viento o el hielo. Ejemplos de rocas sedimentarias son los conglomerados, las areniscas, la caliza, el carbón o el yeso.

Sección estratigráfica. Sucesión cronológica de las unidades estratigráficas* de una localidad o región.

Sección tipo. Véase estratotipo*.

Serie. Unidad cronoestratigráfica* formada por los materiales que se depositan durante una época*, que es la unidad geocronológica* equivalente.

Sistema. Unidad cronoestratigráfica* formada por los materiales que se depositan durante un periodo*, que es la unidad geocronológica* equivalente.

Sistema Tierra. La Tierra, considerada como una unidad funcional global, producto de la interacción de diferentes compartimentos o subsistemas como la atmósfera (el aire), la biosfera (la vida), la hidrosfera (el agua), la litosfera (las rocas) y, en la actualidad, también el componente humano o antroposfera.

Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario. Subcomisión de la CIE* responsable del Cuaternario*, su subdivisión, descripción, terminología, correlaciones, documentación y publicación.

Subsuperficial. Literalmente, que se encuentra por debajo de la superficie. En geología, se refiere a los cuerpos rocosos que están enterrados y no afloran a la superficie de la corteza terrestre.

Taxonomía. Del griego, “normas de ordenamiento”; ciencia de la clasificación, que se puede aplicar a cualquier actividad de este tipo pero que, en el contexto biológico, se refiere a la clasificación de los seres vivos, sus normas y procedimientos.

TCI (tabla cronoestratigráfica internacional). Conjunto de unidades cronoestratigráficas* ordenadas según su edad y rango, que sirve de referencia para reconocer, caracterizar y correlacionar las rocas de cualquier parte del mundo.

‘Tecnógeno’. Término acuñado por George Ter-Stepanian para referirse al periodo geológico informal de mayor influencia humana sobre la Tierra, gracias al desarrollo de la tecnología. Según el mismo Ter-Stepanian, equivale al término ‘Quinario’*, que vendría después del Cuaternario* e incluiría el Holoceno*.

Tecnosfera física. Infraestructura física y artefactos tecnológicos que soportan el flujo de materia, energía e información que permite el funcionamiento de la humanidad actual como sistema. Incluye construcciones, vías de comunicación, vehículos, herramientas, cultivos, pastos, residuos, etc. Véase también antroposfera* y antropostroma*.

UICG (Unión Internacional de Ciencias Geológicas). Organismo científico internacional encargado de promover y estimular el estudio de problemas geológicos, especialmente los de alcance global, apoyando y facilitando la cooperación internacional interdisciplinar en las ciencias de la Tierra.

Unidad estratigráfica. Nombre genérico que se utiliza para designar los cuerpos de roca diferenciados por su litología*.

Unidad cronoestratigráfica. Unidad de roca depositada durante un determinado intervalo de tiempo geológico. Las categorías de unidades cronoestratigráficas* más utilizadas aquí son el eratema* (por ejemplo, Cenozoico*), el sistema* (por ejemplo, Cuaternario*) y la serie* (por ejemplo, Pleistoceno*).

Unidad geocronológica. Unidad de tiempo geológico durante el cual se forma una unidad cronoestratigráfica*. Las categorías de unidades geocronológicas más utilizadas aquí son la era* (por ejemplo, Cenozoico*), el periodo* (por ejemplo, Cuaternario*) y la época* (por ejemplo, Pleistoceno*).

Bibliografía

Autin, W. J. (2016): “Multiple dichotomies of the Anthropocene”, The Anthropocene Review, 3, pp. 218-230.

Berry, T. (1992): “A new era: healing the injuries we have inflicted on our planet”, Health Progress, 73, pp. 60-63.

Crutzen, P. J. (2002): “The geology of mankind”, Nature, 415, p. 23.

Crutzen, P. J. y Stoermer, E. F. (2000): “The ‘Anthropocene’”, Global Change Newsletter, 41, pp. 17-18.

Edgeworth, M.; Richter, D. deB et al. (2015): “Diachronous beginnings of the Anthropocene: the lower bounding surface of anthropogenic deposits”, The Anthropocene Review, 2, pp. 33-58.

Edwards, L. E. (2015): “What is the Anthropocene?”, Eos, 7, pp. 6-7.

Ellis, E. C. (2015): “Ecology in an anthropogenic biosphere”, Ecological Mongraphs, 85, pp. 287-331.

Ellis, E. C.; Goldewijk, K. K. et al. (2010): “Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000”, Global Ecology and Biogeography, 19, pp. 589-606.

Ellis, E.; Maslin, M. et al. (2016): “Involve social scientists in defining the Anthropocene”, Nature, 540, p. 192-193.

Finney, S. C. y Edwrads, L. E. (2015): “The ‘Anthropocene’ epoch: scientific decision or political statement?”, GSA Today, 26, pp. 4-10.

Gerasimov, I. (1979): “Anthropogene and its major problem”, Boreas, 8, pp. 23-30.

Hamilton, C. y Grinevald, J. (2015): “Was the Anthropocene anticipated?”, The Anthropocene Review, 2, pp. 59-72.

Haughton, S. (1856): Manual of Geology, Longmans Green, Londres.

Klein, G. D. (2015): “The ‘Anthropocene’: What is its geological utility? (Answer: It has none!)”, Episodes, 38, p. 218.

LeConte, J. (1883): Elements of Geology, D. Appleton & Co., Nueva York.

Lewis, S. L. y Maslin, M. A. (2015): “Defining the Anthropocene”, Nature, 519, pp. 171-180.

Mann, C. C. (2011): 1493: How Europe’s Discovery of the Americas Revolutionized Trade, Ecology and Life on Earth, Granta Books, Londres.

Marsh, G. P. (1864): Man and Nature, C. Scribner & Sons, Nueva York.

Murphy, M. A. y Salvador, A. (1999): “International Stratigraphic Guide – an abridged version”, Episodes, 22, pp. 255-271.

Passerini, P. (1984): “The ascent of the Anthropostrome: a point of view on the man-made environment”, Environmental Geology and Water Sciences, 6, pp. 211-221.

Revkin, A. (1992): Global Warming: Understanding the Forecast, Abbeville Press, Nueva York.

Rockström, J.; Steffen, W. et al. (2009): “Planetary boundaries: exploring the safe operating space for Humanity”, Ecology & Society, 14, p. 32.

Ruddiman, W. F. (2003): “The anthropogenic greenhouse gas era began thousands of years ago”, Climatic Change, 61, pp. 261-293.

— (2013): “The Anthropocene”, Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 41, pp. 45-68.

Ruddiman, W. F.; Ellis, E. C. et al. (2015): “Defining the epoch in which we live. Is a formally designated ‘Anthropocene’ a good idea?”, Science, 348, pp. 39-39.

Rull, V. (2009): “Beyond us. Is a world without humans possible?”, EMBO Reports, 10, pp. 1191-1195.

— (2013): “A futurist perspective on the ‘Anthropocene’”, The Holocene, 23, pp. 1198-1201.

— (2016): “The Humanized Earth System (HES)”, The Holocene, 26, pp. 1513-1515.

— (2016): “The ‘Anthropocene’: a requiem for the Geologic Time Scale?”, Quaternary Geochronology, 36, p. 76-77.

Salvador, A. (1994): International Stratigraphic Guide. A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology and Procedure, International Union of Geological Sciences (Trondheim) and Geological Society of America (Boulder), 2ª ed.

Steffen, W.; Grinevald, J. et al. (2011) “The Anthropocene: conceptual and historical perspectives”, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, pp. 842-867.

Stoppani, A. (1873): Corso di Geologia. Volume II: Geologia Stratigrafica, G. Bernardoni e G. Brigola Editori, Milán.

Teilhard de Chardin, P. (1955): Le Phénomène Humain, Éditions du Seuil, París.

Ter-Stepanian, G. (1988): “Beginning of the Technogene”, Bulletin of the International Association of Engeneering Geology, 38, pp. 133-142.

Vera, J. A. (1994): Estratigrafía. Principios y métodos, Editorial Rueda, Madrid.

Vernadski, V. I. (1997): Scientific Thought as a Planetary Phenomenon, Non-governmental Ecological, V. I. Vernadski Foundation, Moscú.

Walker, M.; Johnsen, S. et al. (2009): “Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records”, Journal of Quaternary Science,

24, pp. 3-17.

Walker, M.; Gibbard, P. et al. (2015): "Comment on 'When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal' by Jan Zalasiewicz et al. (2015), Quaternary International, 383, pp. 196-203", Quaternary International, 383, pp. 204-207.

Waters, C. N.; Zalasiewicz, J. A. et al. (2014): A Stratigraphical Basis for the Anthropocene, The Geological Society, Londres.

— (2016): "The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene", Science, 351, aad2622.

Williams, M, Zalasiewicz, J. et al. (2015): "The Anthropocene biosphere", The Anthropocene Review, 2, pp. 196-219.

Zalasiewicz, J. (2009): The Earth After Us, Oxford University Press, Oxford.

Zalasiewicz, J.; Williams, M. et al. (2011): "The Anthropocene: a new epoch of geological time?", Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, pp. 835-841.

— (2011): "Stratigraphy of the Anthropocene", Philosophical Transactions of the Royal Society A, 369, pp. 1036-1055.

— (2016): "Scale and diversity of the physical technosphere", The Anthropocene Review, 4, pp. 9-22.

Zalasiewicz, J.;Waters, C. N. et al. (2015): "When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal", Quaternary International, 383, pp. 196-203.

— (2017): "Making the case for a formal Anthropocene Epoch: an analysis of ongoing critiques", Newsletters on Stratigraphy, 50, pp. 205-226.

Notas

1. Por ejemplo, los libros de Marsh, Stoppani o LeConte, por citar solo los más antiguos entre los utilizados aquí, están disponibles en Internet en sus versiones originales y completas.

2. Toda la información de este capítulo puede encontrarse en el sitio web de la CIE (http://www.stratigraphy.org/); aquí sintetizaremos lo básico. La TCI se va revisando periódicamente. La versión actual es de 2016 y se puede descargar en dicho sitio web en varios idiomas, incluyendo el español. La figura 9 es una síntesis de la TCI vigente.

3. El detalle de la reunión y la votación del GTA, llevada a cabo en el 35 Congreso Internacional de Geología de Ciudad del Cabo (Sudáfrica) en agosto de 2016, está disponible en una nota de prensa de la Universidad de Leicester, a la que pertenece Zalasiewicz y cuatro miembros más del GTA (https://www2.le.ac.uk/offices/press/press-releases/2016/august/media-note-anthropocene-working-group-awg). Asistieron 35 miembros del grupo de trabajo, que votaron seis preguntas, con los siguientes resultados (en cursiva, las opciones ganadoras):

1. ¿El 'Antropoceno' es estratigráficamente real? Sí: 34; No: 0; Abstenciones: 1.

2. ¿El 'Antropoceno' debe ser formalizado? Sí: 30; No: 3; Abstenciones: 2.

3. ¿Cuál es el nivel jerárquico del 'Antropoceno'? Era: 2; Periodo: 2,5; Época: 20,5; Subépoca: 1; Edad: 2; Subedad: 0; Dudoso: 3; Abstenciones: 4.

4. ¿Cuál es el inicio del 'Antropoceno'? ~7.000 AP: 0; ~3.000 AP: 1,3; 1610: 0; ~1800: 0; ~1950: 28,3; ~1964: 1,3; Diacrónico (no sincrónico): 4; Dudoso: 0; Abstenciones: 0.

5. ¿GSSA o GSSP? GSSP: 25,5; GSSA: 1,5; Dudoso: 8.

6. ¿Cuál es la señal primaria? Aluminio: 0; Plástico: 3; Cenizas volantes: 2; CO2: 3; CH4: 0; Cambios isotópicos de carbono: 2; Cambios isotópicos de oxígeno: 0; Radioisótopos de carbono: 4; Plutonio: 10; Concentración de nitrógeno: 0; Extinción/ cambios de comunidades: 0; Otros (plomo, contaminantes orgánicos, tecnofósiles): 3; Dudoso: 2; Abstenciones: 0.

4. Los asteriscos indican que las palabras o abreviaturas correspondientes se encuentran definidas en este mismo glosario.